

ENITA de Clermont-Ferrand

Mémoire de fin d'études d'ingénieur

Influence des dates de récolte et des traitements post-récoltes sur l'évolution des critères de qualité de la banane : étude des mécanismes physiologiques associés.

Gilbert PIRAL

Option : Agriculture Production Végétale et environnement

Année : 2005- 2008



Titre : Influence des dates de récolte et des traitements post-récoltes sur l'évolution des critères de qualité de la banane : étude des mécanismes physiologiques associés.

Auteur : Gilbert PIRAL

Présenté à : ENITA de Clermont-Ferrand

Stage réalisé au : CIRAD station Neufchâteau à CAPESTERRE BELLE-EAU DE GUADELOUPE

Diplôme : Ingénieur des Techniques Agricoles, option « Agriculture Production Végétale et environnement »

Date de la soutenance : Le 15 Septembre 2008

Maître de stage : M. D. *MBEGUIE-A-MBEGUIE*

Président du jury : M

Membres du jury :

Enseignant tuteur : Mme N. VASSAL

Remerciements

Je souhaite adresser mes sincères remerciements à M. Didier MBEGUIE-A-MBEGUIE, chercheur au CIRAD –UMR 94 QUALITROP (Qualité des fruits et légumes tropicaux) pour son aide et la documentation qu'il a mise à ma disposition. Mes remerciements vont également à M. HUBERT Olivier, technicien supérieur CIRAD-UMR95 QUALISUD, pour la grande disponibilité dont il a fait preuve à mon égard.

Je remercie Mmes Lucienne DESFONTAINES chercheur à la station Agropédoclimatique de INRA-Guadeloupe et responsable du laboratoire d'analyse des minéraux, et Colette GALAS, technicienne supérieure de l'INRA-UMR 94 QUALITROP et responsable du laboratoire d'analyse des sucres pour leur disponibilité et leur aide précieuse respectivement lors du dosage des minéraux et, des sucres et des acides organiques.

Je remercie Madame Nathalie VASSAL, mon professeur tuteur pour son soutien, pour tous ses conseils et l'investissement dont elle a fait preuve durant ma période de stage.

Je voudrais également à remercier le Responsable de UMR QUALITROP, M. B. FILS-LYCAON ainsi que le reste du personnel : Philippe JULIANUS, R. PICHY, M.L. SAINT-MARC pour leur accueil chaleureux.

Je ne saurais oublier ma famille et mes collègues de travail qui pendant tout mon cursus m'ont été d'une aide précieuse et n'ont cessé de m'encourager.

J'adresse enfin mes remerciements à toutes les personnes qui de près ou de loin ont été associées à la réalisation de mon travail.

Résumé:

Dans cette étude, nous avons caractérisé la banane d'exportation Cavendish et examiné l'incidence du stade de récolte et des traitements post récoltes sur les différents critères de la qualité du fruit. Pour cela environ 140 fruits ont été récoltés à 2 stades différents, 60 JAF (jours après floraison) et à maturité commerciale (90 JAF). Les fruits ont été mûris séparément dans 3 conditions et à 20°C: M1 : 1000 ppm d'acétylène (un analogue de l'éthylène), pendant 24 h, M2 : 10000 ppm d'acétylène pendant 18 h ; M3 : 10000 ppm d'acétylène pendant 24 h. Durant les 7 jours qui ont suivi le traitement, les critères de qualité organoleptiques (sucres et acides organiques), nutritionnels (minéraux) et physiques (dureté de la peau, fermeté de la pulpe et la couleur de la peau) ont été mesurés tous les jours.

Nos résultats montrent que la date de récolte et les conditions d'induction de la maturation affecte différemment l'évolution de la qualité post-récolte des fruits en fonction du critère de qualité choisi. Ce qui suggère une mise en place différentielle des mécanismes physiologiques associés.

Par ailleurs l'analyse statistique des données a mis en évidence d'une part des corrélations entre les évolutions des différents critères et, d'autre part, des équivalences physiologiques entre les fruits.

Mots clefs : *Musa*, fruit, maturation, qualité, technologie post-récolte,

Abstract:

In this study leading to the characterization of Cavendish banana, we examined the effect of harvested time and post-harvested treatments on the behaviour of fruit quality traits during post-harvest ripening. Approximately 140 fruits were harvested at two developmental stages namely, 60 DAF (days after flowering) and commercially harvested time (90 DAF). Fruits were ripen in air at 20°C after being induced under three separated conditions all performed at 20°C: M1 : 1000 ppm of acetylene, an ethylene analog for 24 h; M2: 10000 ppm of acetylene for 18 h ; M3 : 10000 of acetylene for 24 h. During 7 days following the post-treatment induction, different quality criteria including physical (pulp firmness and peel hardness, fruit color), organoleptic (soluble sugar and organic acid), and nutritional (mineral composition) were measured daily.

Our results shown that, harvested time and ripening conditions affect differentially the behaviour of fruit quality traits according to the chosen parameter, thus suggesting a differential induction of the physiological mechanisms involved.

The statistical analysis of the all data obtained point out that, i) some correlation between evolutions of different parameter of quality and ii) physiological equivalence between fruits.

Keywords: *Musa*, fruit, quality, post-harvested technology.

Table des matières.

Avant propos	1
Présentation des structures d'accueil.....	3
1.1 LE CIRAD	3
1.1.1 Le CIRAD à l'échelle nationale	3
1.1.2 Le CIRAD en Guadeloupe (www.cirad.fr/guadeloupe).....	3
1.2. L'UMR QUALITROP	4
1 Contexte socio-économique	5
2. Le bananier	5
2.1 TAXONOMIE	5
2.2 DIVERSITE VARIETALE	6
2.3 EXIGENCES DES PRATIQUES CULTURALES	6
3 Le fruit	7
3.1 CROISSANCE ET DEVELOPPEMENT DU FRUIT EN VERT	7
3.2 LA PHASE PRE-CLIMATERIQUE, APPELEE AUSSI « VIE VERTE ».....	7
3.3 LA MATURATION DE LA BANANE.....	8
3.3.1 Les fruits climactériques et les fruits non climactériques	8
3.3.2 L'éthylène, maturation de la banane et processus physiologiques associés	9
3.3.3 Le processus de maturation de la banane	9
3.4 CHANGEMENT AU COURS DE LA MATURATION DES FRUITS	10
3.4.1 Changements de la couleur de la peau et de la pulpe	10
3.4.1 Principaux facteurs influençant le processus de maturation de la banane.....	11
<i>Effet de la température.....</i>	<i>11</i>
<i>Les basses températures sont appliquées pour prolonger la durée de survie des fruits dans la limite de leur sensibilité à ces températures car le froid ralentit le métabolisme. Pour chaque type de fruit, il est impératif de déterminer la durée et la température ayant des effets bénéfiques sur la maturation et la qualité du fruit En dessous de 12 °C, le froid cause des dommages à la banane (Pech et al., 2003).</i>	<i>11</i>
3.5 LA PHASE DE SENESCENCE	12
4 La qualité nutritionnelle de la banane	13
5 Filière de commercialisation de la banane export.....	13
6 Problématique	15
1 Matériel.....	16
1.1 RECOLTE ET ECHANTILLONNAGE	16
1.2 TRAITEMENTS ET STABILISATION DU MATERIEL	16
2 Méthodes.....	18
2.1 MESURE DES CRITERES MECANQUES.....	18
2.1.1 Couleur de la peau	18
2.1.1 Dureté de la peau, fermeté de la pulpe et dégrain	18
2.2 DOSAGE DES SUCRES SOLUBLES ET ACIDES ORGANIQUES	18
2.2.1 Extraction.....	18
2.2.2 Dosage des sucres	18
2.2.3 Dosage des acides organiques	18
2.3 DOSAGE DES MINERAUX	18
2.3.1 Préparation des échantillons pour le dosage du Ca, Mg, K, Mn, Cu, Fe et Zn	18
2.3.2 Dosage du Ca, Mg, K, Mn, Cu, Fe et Zn.....	19
2.3.3 Préparation des échantillons pour le dosage de l'azote	19
RESULTATS ET DISCUSSION	20
1 Evolution des critères mécaniques	20

2 EVOLUTION DES CRITERES FONCTIONNELS	20
3 EVOLUTION DES CRITERES ORGANOLEPTIQUES.....	21
4 Evolution des critères nutritionnels (composés minéraux)	23
5 Présentation des Analyses en Composantes Principales.	23
6. Présentation des Classifications Ascendantes Hiérarchiques (CAH).	24
7. Conclusions et Perspectives.....	26
Bibliographie	27

Table des illustrations

Figures

Figure 1. Anatomie du bananier et de son régime (Champion, 1963)

Figure 2: Différentes étapes du développement du régime (Chillet, 2003)

Figure 3. Phases de développement et de la maturation de la banane caractérisées par l'évolution de la couleur de la peau

Figure 4. Voies de la biosynthèse des l'éthylène (Happi Emaga et al., 1997)

Figure 5: Evolution de l'amidon, des sucres totaux, des extraits secs solubles et de l'acidité titrable dans la pulpe de banane au cours de la maturation

Figure 6: Mesure de la couleur au chromamètre

Figure 7 : Méthode de mesure du dégrain (A) et, de la dureté de la peau et la fermeté de la pulpe (B)

Figure 8 : Illustration des principales étapes d'extraction et de dosage des sucres solubles et des acides organiques

Figure 9 : Illustration des principales étapes d'extraction et de dosage des sucres solubles et des acides organiques.

Figure 10 : Illustration des principales étapes d'extraction et de dosage des minéraux

Figure 11 : Evolution des critères mécaniques

Figure 12 : Evolution des critères fonctionnels

Figure 13 : Evolution des critères organoleptiques

Figure 14 : Evolution des critères nutritionnels

Figure 15 : Cercles de corrélation représentant les différentes variables physico chimiques des bananes A : stade 90 JAF et B: stade 60 JAF

Tableaux

Tableau 1 : Variabilité de la vie verte

Tableau 2 : Composition de la banane dessert

Liste des abréviations

ACC : Acide 1-aminocyclopropane-1-carboxylique

ACP : Afrique Caraïbe Pacifique

APC : Agropédoclimatique

ATP : Adénosine triphosphate

CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

DVV : Durée de Vie Verte

FAO : Food and Agriculture Organisation

HPLC : High Performance Liquid Chromatography

IITA : Institut International d'Agriculture

INRA : Institut National de Recherche en Agronomie

JAF : Jours après floraison

OMC : Organisation Mondiale du Commerce

QUALITROP : Qualité des fruits et légumes tropicaux

SAM : S-adenosylméthionine

ST : Somme thermique

UMR : Unité Mixte de recherche

Avant propos

Les travaux dont les résultats sont présentés dans ce mémoire s'inscrivent dans le cadre du programme d'amélioration variétale visant à proposer aux consommateurs des variétés de banane aux qualités organoleptiques et nutritionnelles améliorées et plus en adéquation avec leurs besoins. L'exploitation optimale des variétés existantes couplées à d'autres approches comme la création de nouvelles variétés peuvent contribuer à l'aboutissement de cet objectif.

Il est aujourd'hui admis que la qualité organoleptique et nutritionnelle des fruits s'élabore au cours d'une phase importante de son développement qu'est la maturation. Pour les fruits climactériques comme la banane, la maturation est un processus complexe mettant en jeu de nombreux mécanismes pour la plus part initiés et contrôlés par l'éthylène. De nombreux facteurs sont connus pour affecter la maturation du fruit au champ et/ou après récolte et donc le devenir de sa qualité organoleptique et nutritionnelle. Parmi ceux-ci on notera le stade de récolte du fruit, tout comme les conditions dans lesquelles est induite sa maturation. Chez la variété de banane Cavendish, alors que la plupart des travaux menés jusqu'à présent l'ont été sur des fruits récoltés à la date de maturité commerciale. De récents travaux menés sur les fruits récoltés à différents stades de développement en vert, respectivement à 60 et 90 JAF (jour après floraison) ont mis en évidence une différence en termes de profil et de teneur d'éthylène produit. Comparés aux fruits récoltés à 90 JAF, ceux récoltés à 60 JAF produisaient plus d'éthylène et de manière continue tout au long de la maturation post-récolte (Mbéguié-A-Mbéguié et al., 2007).

L'objectif de ce stage était d'examiner l'effet de la date de récolte et des conditions d'induction de la maturation sur l'évolution post-récolte de la qualité de la banane Cavendish évaluée sur la base des critères mécaniques (dureté de la peau, fermeté), fonctionnelles (couleur, dégrain) organoleptiques (sucres solubles et acides organiques) et nutritionnelles (nature et teneur en minéraux).

Pour cela, deux stades de récolte (60 et 90 JAF) et 3 conditions d'induction de la maturation (M1 : 1000ppm d'acétylène, un analogue de l'éthylène/24h/20°C ; M2 : 10000ppm d'acétylène un analogue de l'éthylène/18h/20°C ; M3 : 10000ppm d'acétylène un analogue de l'éthylène/24h/20°C) ont été testés. Nos résultats ont montré que :

Pour un stade de récolte donné, les conditions d'induction de la maturation affectent de manière différente la qualité du fruit selon le critère choisi. Par exemple, les fruits récoltés à 60 JAF et induit aux conditions M2 accumulent très peu de saccharose pendant la maturation post récolte contrairement aux mêmes fruits traités en conditions M1 M3. De même les dates de récoltes et les conditions d'induction maturation impactent les teneurs en sucres solubles mais pas les minéraux accumulés par les fruits.

L'effet combiné des conditions de maturation et des dates de récolte permet de générer, chez la variété Cavendish et pour certains critères de qualité, des comportements contrastés suggérant ainsi une mise en place différentielle des mécanismes de maturation associés. Si l'on considère la couleur de la peau (critère de qualité fonctionnel), les fruits récoltés à 90 JAF ont une évolution contrastée par rapport à ceux récoltés à 60 JAF. De même pour l'acide malique (critère organoleptiques) les fruits récoltés à 60 JAF et induit en condition M1 et M3 présente un comportement contrasté par rapport d'une part à ceux induits en conditions M2 et, d'autre part à ceux récoltés à 90 JAF.

L'ensemble de ces résultats contribue à la caractérisation exhaustive de la qualité de la banane Cavendish (standard commercial) et à l'optimisation des itinéraires technologiques (dates de récoltes, conditions de mûrissement etc..) permettant l'expression optimale du potentiel de qualité du fruit. De plus ces résultats permettent d'envisager des perspectives intéressantes pour

des études de physiologie moléculaire de la maturation de la banane basées sur des modèles contrastés. A plus long terme et dans une perspective de segmentation du marché, le standard Cavendish ainsi caractérisé permettra d'appréhender objectivement la performance d'autres variétés de bananes et donc de les différencier.

Ce rapport est composé de 3 parties. Une partie bibliographique qui décrit l'état de connaissance sur la maturation de la banane et ses enjeux. La seconde partie de l'étude est consacrée aux méthodes utilisées lors de nos travaux et la dernière partie nous présenterons et discuterons des résultats obtenus.

Présentation des structures d'accueil

1.1 Le CIRAD

1.1.1 Le CIRAD à l'échelle nationale

Le Cirad est un établissement public à caractère industriel et commercial (Epic), placé sous la tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère des Affaires étrangères et européennes.

L'établissement est organisé autour de 3 départements et 56 unités : 27 unités propres de recherche (Upr), 4 unités de service (Us), 22 unités mixtes de recherche (Umr) et 3 unités de recherche en partenariat (Urp).

3 grands départements de recherche

Systèmes biologiques (Bios)

Environnements et sociétés (ES)

Performances des systèmes de production et de transformation tropicaux (Persyst) dont fait partie l'unité mixte de recherche (UMR 94 Qualitrop) au sein de laquelle j'ai réalisé mon stage (<http://www.recherche-guyane.org/BIP/annuaire-de-la-recherche/groupement/Fiche77>, www.cirad.fr)

1.1.2 Le CIRAD en Guadeloupe (www.cirad.fr/guadeloupe)

Par ses recherches, l'appui aux producteurs et la formation, le Cirad œuvre depuis 50 ans en faveur du développement durable de l'agriculture en Guadeloupe. Avec ses partenaires, l'aide des collectivités locales et des services de l'Etat, il contribue au rayonnement scientifique de la Guadeloupe dans la région caraïbe, dans les domaines de l'agriculture (banane, canne à sucre, ananas, agrumes, pathologie animale) et de l'environnement.

Les activités du CIRAD se regroupent en Guadeloupe autour de 7 domaines de recherche :

- les systèmes de culture bananiers,
- la gestion de la biodiversité
- l'amélioration des plantes,
- l'environnement et les pratiques agricoles,
- la physiologie et la qualité,
- la gestion des risques sanitaires,
- la santé animale.

Pour mener à bien ses missions, le CIRAD est implanté sur 4 sites :

- les sites de Duclos et de Roujol dans la commune de Petit-Bourg,
- les sites de Neufchâteau à Capesterre
- le site de Vieux-habitant à Vieux-Habitants, (Figure ci-contre.

Le Cirad Guadeloupe compte 130 agents répartis sur quatre sites.

Personnels scientifiques et techniques : 101 agents, 23 chercheurs, 5 VCAT ingénieurs, 73 techniciens et collaborateurs.



Personnels de direction, gestion, administration et entretien : 24 agents, 6 cadres, 1 VCAT, 17 techniciens et collaborateurs.
Pour en savoir plus voir CIRAD Guadeloupe

1.2. L'UMR QUALITROP

Le projet scientifique

L'UMR QUALITROP a été créée le 1^{er} janvier 2006. Elle a reposé, pour son premier contrat quadriennal, sur un partenariat INRA - Université des Antilles et de la Guyane (UAG) - CIRAD pour mener à bien, un projet scientifique concernant la qualité des fruits et légumes tropicaux. Les recherches proposés dans cette thématique visent à :

- Caractériser la qualité des fruits et légumes tropicaux frais, et à identifier les critères les plus discriminants de celle-ci,
- Comprendre, pour une variété donnée, l'impact des conditions de productions, de récolte, de conservation,
- Comparer des variétés entre elles pour des conditions de production identiques,
- Comprendre et contrôler l'impact des opérations de transformation sur les caractéristiques du produit.

Les activités de recherche développée au sein de l'unité se déclinent en 3 programmes, correspondant à 3 approches différentes mais complémentaires, toutes importantes dans le contexte de cette thématique et de sa finalité.

1. Caractérisation de la qualité des produits (organoleptique, nutritionnelle, activités biologiques)
2. Physiologie du développement et de la maturation du fruit / voies métaboliques
3. Agro-transformations alimentaires ou non alimentaires

L'ensemble de ces programmes est détaillé en annexe 1.

Les travaux réalisés dans le cadre de mon stage s'inscrivent dans l'axe de recherche « Optimisation de la caractérisation physico-chimique, biochimique et biologique à l'aide de paramètres importants pour les qualités organoleptiques, nutritionnelles, biologiques (activité) » du programme 1.

De part sa composition, l'unité est rattachée à la DSD10 pour l'Université, et aux départements PERSYST et CEPIA pour le CIRAD et l'INRA, respectivement. Elle est composée de 22 agents permanents : 1 professeur, 6 maître de conférence, 3 chargé de recherche, 1 ingénieur de recherche, 1 ingénieur d'étude, 1 assistant ingénieur, 4 techniciens de recherche, 4 adjoints techniques, 1 AA pour un total de 20 équivalent temps plein (dont 4 HDR). Cinq Doctorants réalisent à ce jour leurs travaux de thèse dans l'unité (début des thèses en 2006, 2007, 2007, 2008, 2008).

L'unité est constituée de 11 personnes de l'Université des Antilles et de la Guyane pour 9 équivalents temps plein, 10 personnes de l'INRA pour 10 équivalents temps plein, 1 personne du CIRAD, pour 1 équivalent temps plein. Outre les services administratifs et de documentation (3 personnes), l'unité comprend 12 cadres répartis sur 3 équipes de recherche, et 1 groupe d'appui technique de 7 personnes (soit 5,5 ETPR) (voir annexe 2). L'unité est implantée sur 4 sites, 3 en Guadeloupe, et 1 en Guyane, comme suit :

INRA, domaine de Duclos : 11 personnes (8 ETPR), UAG, Campus de Fouillolle Pointe à Pitre : 7 personnes (3 ETPR), UAG Campus de Cayenne : 3 personnes (1,5 ETPR), CIRAD, domaine de Neufchâteau : 1 personne (1 ETPR) (annexe 2).

PARTIE I

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

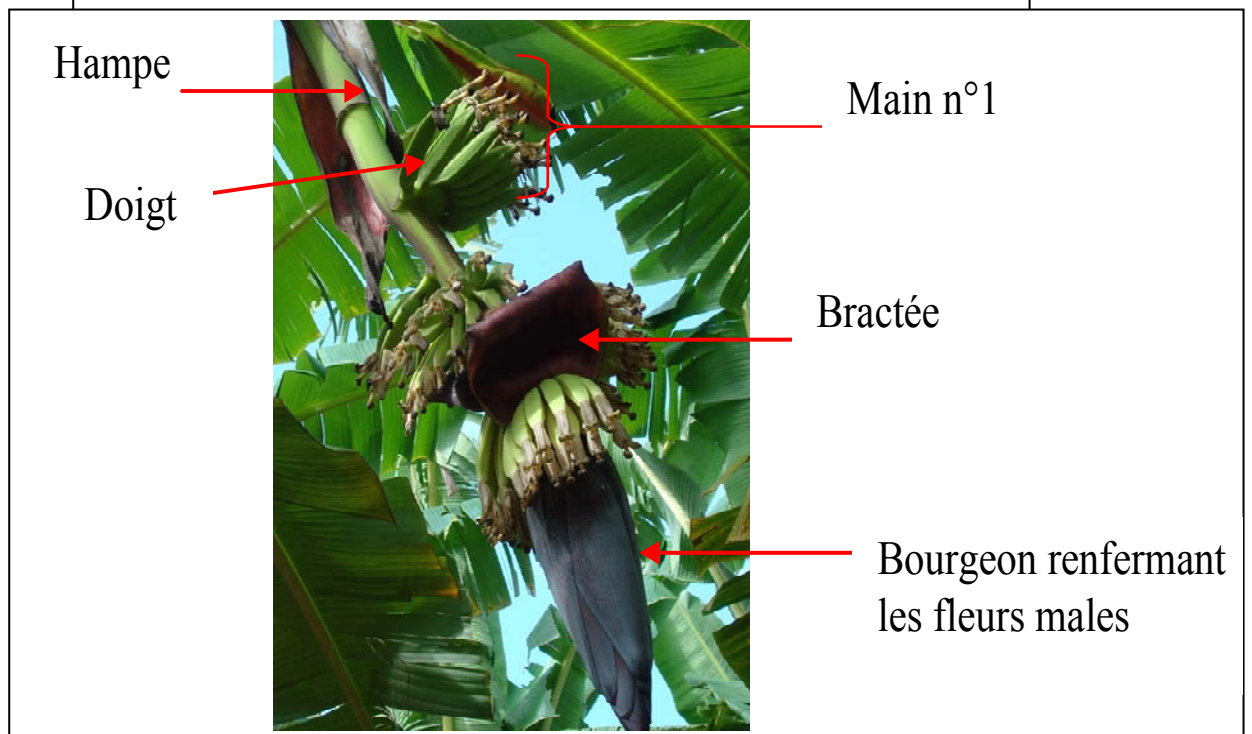
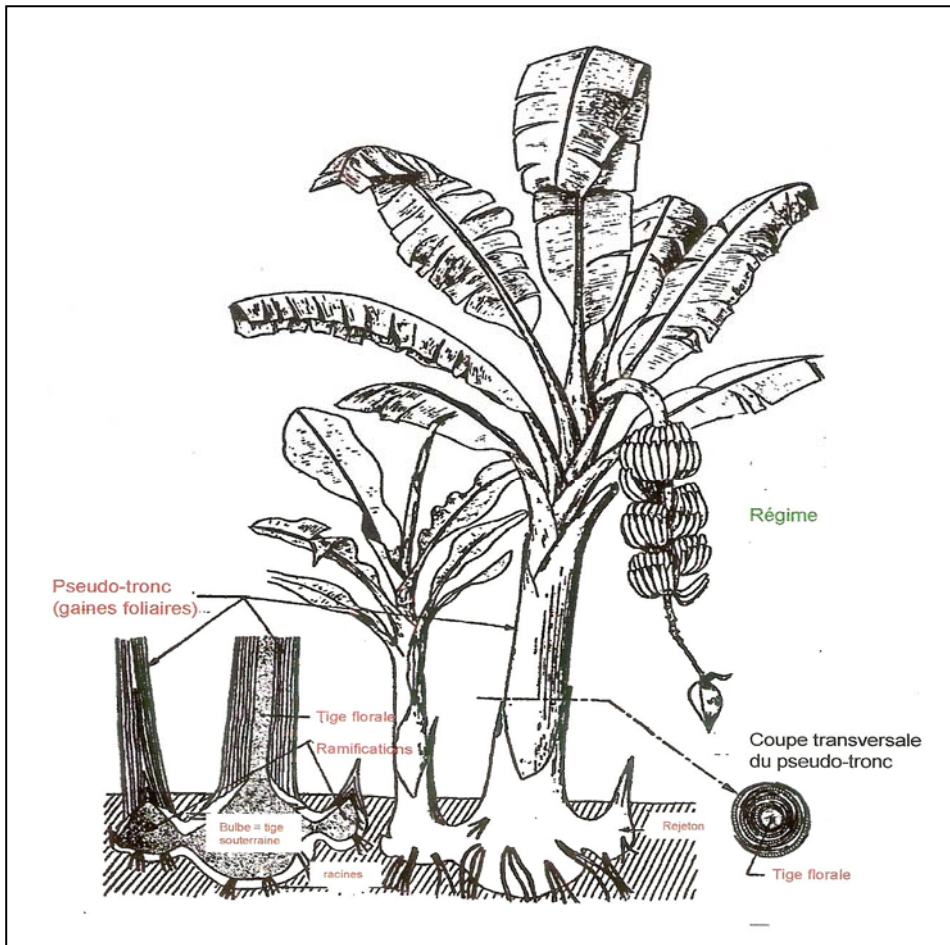


Figure 1. Anatomie du bananier et de son régime (Champion, 1963)

1 Contexte socio-économique

Avec une production mondiale de plus de 90 millions de tonnes dont 76 millions pour la banane dessert, la banane est le fruit le plus consommé au monde (FAO, 2004). Parmi les nombreux pays producteurs (Equateur, Costa Rica, Colombie, Afrique, Caraïbe...), on retrouve une production antillaise dont les exportations autorisées par l'union européenne sont fixés à 287 000 tonnes. (Triay, 2008).

Bien que la banane produite aux Antilles françaises soit peu représentative à l'échelle mondiale (moins de 0,01%) et qu'elle ne représente qu'environ 7% des importations Européennes, elle occupe une grande place socioéconomique dans ces îles. Ce sont près de 15 000 emplois directs et indirects qui gravitent autour de la filière (Payot, 2007).

A l'échelle internationale, les producteurs français sont lourdement handicapés par des coûts de production élevés essentiellement dus à la main d'œuvre. En effet, la production Antillaise est très fortement concurrencée par les bananes communément appelées « banane dollar » et par les pays ACP (Afrique Caraïbes, Pacifique), produites à moindre coût (Perrin, 2007). Les prix de la main d'œuvre journalière en 2004 variaient de 3,6 € en Equateur à 8 € au Panama alors qu'à la même période le salaire journalier des producteurs aux Antilles française étaient de 73,6 € par jour soit 9 à 23 fois plus que le salaire dans les plantations d'Amérique Latine (Almont, 2006).

Face à ce constat, les producteurs Antillais, s'ils veulent continuer à produire et à exister sur le marché, ils doivent développer d'autres stratégies. Une d'entre elles consiste à développer aujourd'hui des nouvelles niches commerciales en proposant des aux consommateurs des produits différents parce que : améliorés en terme de qualité, plus en adéquation avec leur besoin et/ou produites dans les conditions plus respectueuses de l'environnement et de la santé humaine.

2. Le bananier

2.1 Taxonomie

Le bananier est une plante monocotylédone appartenant à l'ordre des *Zingibérales*.

Sous Phylum : *Monocotylédones*

Classe : *Liliopsida*

Ordre : *Scitaminale*

Famille : *Musacées*

Genre : *Musa* (Simmonds et al., 1955),

Description de la plante

La banane est une herbe géante monocotylédone de grande taille sans tige végétative aérienne. La tige souterraine est le centre vital du bananier, lieu de formation des racines, des feuilles et de l'inflorescence. C'est à ce niveau que se différencient les rejets assurant la pérennité de l'espèce. Le système racinaire est de type fasciculé. L'émission de racines se fait pendant toute la phase végétative de croissance. Le pseudo tronc n'est pas une vraie tige. Il résulte de l'imbrication des gaines foliaires les unes dans les autres. Le système foliaire est très développé et sa structure présente des particularités liées aux contraintes alimentaires hydriques. L'inflorescence se forme au niveau de la tige souterraine et parcourt tout le faux tronc avant son apparition à l'extérieur de la plante. La fleur femelle donne le régime de banane, part consommable et commerciale (Fig. 1.; Lassoudière, 2007).

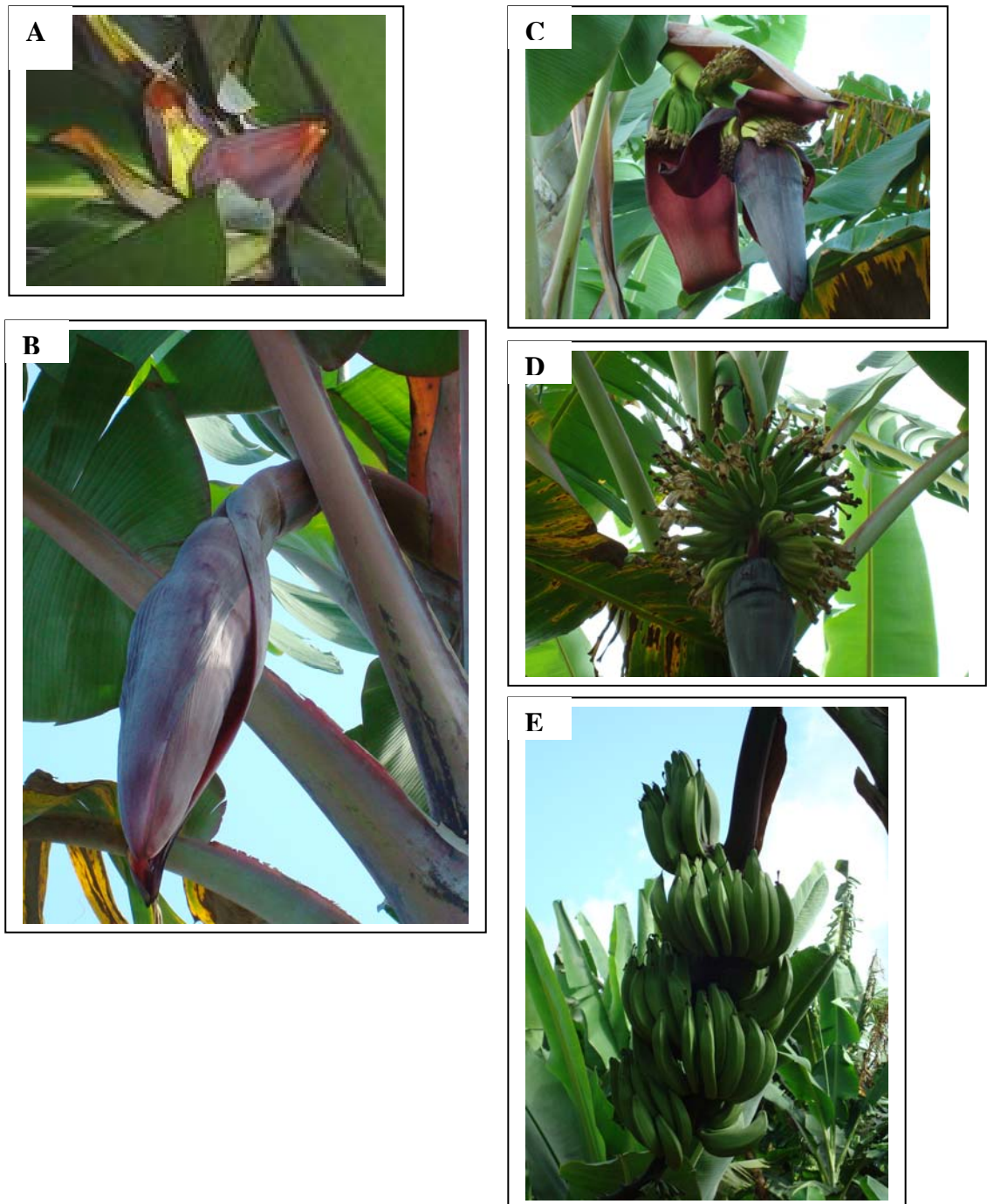


Figure 10: Différentes étapes du développement du régime (Chillet, 2003)

- A : Stade « fleur pointante » : l'inflorescence commence à apparaître au milieu du bouquet foliaire, en haut du bananier.
- B : Stade « jetée » : l'inflorescence est complètement sortie du bouquet foliaire et amorce son retournement vers le bas
- C : Stade « 1^{ère} bractée découverte » la bractée principale du régime est tombée.
- D : Stade « floraison ou doigts horizontaux » : Toutes les bractées recouvrant les mains constituées de fleurs femelles sont tombées
- E : Stade « doigts redressés » : Les fruits continuent à se redresser jusqu'à ce que les apex soient dirigés vers le haut

Trois phases caractérisent le cycle de développement du bananier:

- une phase végétative de 6 à 8 mois,
- une phase de floraison d'une durée de 3 à 4 mois.

Le développement du régime peut se diviser en 5 étapes (Fig. 2) :

- Stade « fleur pointante » : l'inflorescence commence à apparaître au milieu du bouquet foliaire, en haut du bananier. La hampe est verticale et les fruits sont encore invisibles car ils sont sous les bractées.
- Stade « jetée » : l'inflorescence est complètement sortie du bouquet foliaire et amorce son retournement vers le bas.
- Stade « 1^{ère} bractée découverte » la bractée principale du régime est tombée.
- Stade « floraison ou doigts horizontaux » : Toutes les bractées recouvrant les mains constituées de fleurs femelles sont tombées. Les doigts (les fruits) se sont lentement redressés et sont à l'horizontal
- Stade « doigts redressés » : Les fruits continuent à se redresser jusqu'à ce que les apex soient dirigés vers le haut. (Chillet et al, 2003)

2.2 Diversité variétale

Environ 1200 variétés de banane ont pour l'instant été répertoriées, toutes originaires du Sud-est Asiatique. Ces cultivars sont originaires du Sud-est Asiatique. Elles résultent d'hybridations entre les espèces diploïdes sauvages de *Musa accumunata* (génom A) et de *Musa balbisiana* (génom B) et représentent une diversité génétique non négligeable : diploïdes à tétraploïdes, consommation en fruit ou légume, adaptation à des conditions écologiques variées. Cette diversité de phénotypes s'observe entre les sous-groupes (faible diversité à l'intérieur) notamment Cavendish (plus de 30 cultivars), plantains (plus de 150), cultivars d'altitude (plus de 60) (voir annexe 3). Les formes les plus cultivées sont les variétés triploïdes stériles dont fait partie la Cavendish, l'actuelle variété d'exportation (Simmons et Shepherd, 1955; Lassoudière, 2007).

2.3 Exigences des pratiques culturales

En plus des facteurs climatiques, les facteurs édaphiques tels que la qualité du sol, la température et le rayonnement sont essentiels pour la croissance du bananier. Ce dernier peut supporter des températures ambiantes de 40°C et plus. Des brûlures de feuilles apparaissent seulement s'il y a déficit hydrique accentué. Quant au rayonnement, il intervient directement sur la température. Les fortes insolation n'ont pas d'actions néfastes sur les plantes adultes. Des brûlures sont observées sur de jeunes feuilles et sur des fruits (coups de soleil). Le manque de lumière agit sur la hauteur des plants, les rejets « filent ». Le vent et la pluviométrie affectent également le développement du plant. (Lassoudière, 2007)

Le vent pour l'incidence de sa vitesse sur les feuilles dont la lacération entraîne une réduction de la surface photosynthétique et une moindre résistance au déficit hydrique.

La pluviométrie intervient dans la définition des aménagements à réaliser (réseau d'irrigation, gestion des excès d'eau dont sont très sensibles les racines de bananier). Environ 180 mm d'eau par mois sont nécessaires à la plante (Lassoudière, 2007).

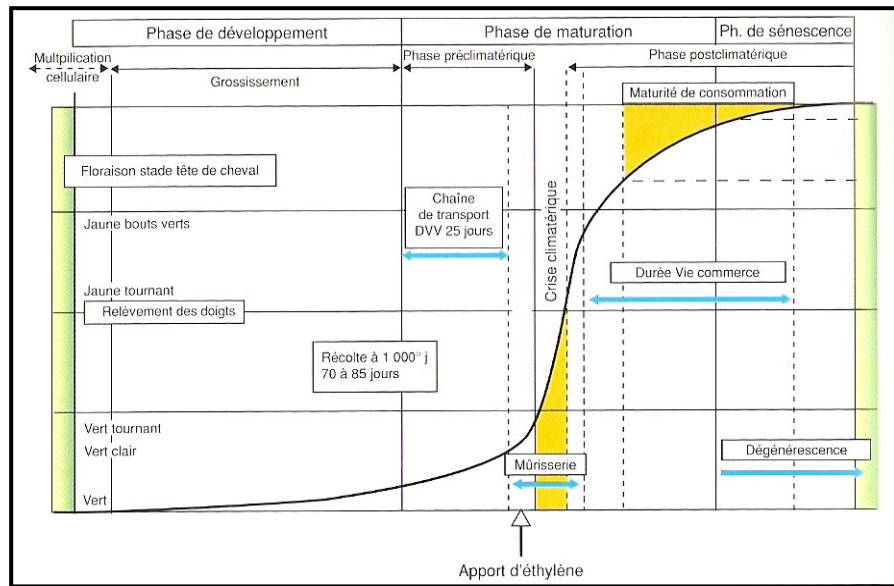


Figure 11. Phases de développement et de la maturation de la banane caractérisées par l'évolution de la couleur de la peau (courbe en gras noir). Abscisses, temps en jours. Ordonnées, stades de l'échelle colorimétrique

3 Le fruit

La banane est un fruit charnu formé de la peau (le péricarpe) et de la pulpe (endocarpe), le doigt est relié au coussinet par un pédicelle. Entre l'apparition de l'inflorescence et la récolte du régime, le poids du fruit est multiplié par 10, la surface transversale médiane par 6. Les ovules sont avortés (Lassoudière, 2007). On distingue 2 types de fruits chez la banane :

- Le type « banane dessert », qui peut être consommé tel quel.
- Le type « banane à cuire », qui doit subir une transformation avant la consommation finale.

Le développement du fruit peut se diviser en 4 étapes (Fig. 3) :

- La phase de croissance jusqu'à la récolte,
- la phase pré-climatérique, appelée aussi « vie verte »,
- la phase de maturation
- la phase de sénescence,

3.1 Croissance et développement du fruit en vert

La croissance du fruit peut-être reproduite en 4 grandes périodes :

- une phase de faible croissance jusqu'au début de l'allongement de la hampe florale,
- une phase de division cellulaire intense de 10 jours avant à 30 jours après la sortie de l'inflorescence à l'extérieur,
- une phase d'accroissement cellulaire de 30 à 80 jours,
- une phase finale de maturation (Lassoudière, 2007)

3.2 La phase pré-climatérique, appelée aussi « vie verte »

La phase pré climatérique est la période située entre la récolte et la crise climatérique qui correspond au début de la maturation du fruit. En condition expérimentale, la durée de vie verte (DVV) peut-être déterminée en mesurant le pic de CO₂ correspondant à l'augmentation de l'intensité respiratoire (Chillet et de Lapeyre de Bellaire, 1996) ou en évaluant la perte de fermeté du fruit (Deullin et Monnet, 1956). C'est une période durant laquelle l'activité métabolique est faible. Pour les productions destinées à l'exportation comme la variété de banane Cavendish, la DVV est un critère déterminant de la qualité du fruit car elle traduit l'aptitude du fruit au transport. Pour les productions antillaises, la DVV doit être d'environ 20-25 jours à la récolte, durée compatible avec les délais de transport. Des DVV courtes peuvent entraîner une maturation précoce des fruits durant le transit (encore appelé mûr d'arrivée). De tels fruits sont systématiquement écartés du circuit de commercialisation. De nombreux facteurs peuvent influencer la DVV de la variété de banane Cavendish.

La Durée de Vie Verte est fortement corrélée à la somme thermique (ST) cumulée de la floraison à la récolte. Plus la somme thermique à la récolte est élevée, plus la durée de vie verte est faible (Lassoudière, 2007).

La température

Plus la température de conservation des fruits augmente plus la durée de vie verte diminue, elle est divisée par 2 pour une augmentation de 10°C. Si des fruits sont conservés à 14°C et leur durée de vie verte de 30 jours, alors pour une température de conservation de 24°C la durée de vie verte ne sera que de 15 jours (Lassoudière, 2007)

L'altitude

L'altitude est un facteur qui joue sur la DVV. Ainsi une expérience, menée en Martinique chez 3 producteurs de bananes situées à différentes altitudes, a montré que la DVV variait entre 18 et 69 jours, avec une moyenne de 42 jours. Quatre-vingt (80%) de la production a présenté DVV de 25 - 50 jours et, moins de 4% inférieure 25 jours (voir table ci-dessous), (Bugaud et Lassoudière, 2005).

Variabilité de la durée de vie verte de bananes (DVV), mesurée sur chacune de trois exploitations martiniquaises soumises à une enquête « diagnostic ».								
Exploitation	Moyenne de la DVV	Écart type de la DVV	Minimum de la DVV	Maximum de la DVV	Écart entre le minimum et le maximum	DVV < 25 j	25 j < DVV < 50 j	DVV > 50 j
	(jours)					(%)		
Basse Pointe 1	39	7	20	54	24	3	94	3
Basse Pointe 2	39	7	18	56	38	5	94	1
Ajoupa Bouillon	49	12	23	69	46	3	50	47
Toutes parcelles confondues	42	10	18	69	–	4	79	17

Tableau 1. Variabilité de la vie verte de banane (Bugaud et Lassoudière, 2005)

Les maladies post récoltes

Dans cette même étude, Bugaud et Lassoudière, (2005) montrent par ailleurs l'influence du *Colletotrichum musae* (maladie cryptogamique) sur la maturation du fruit. En effet la présence de l'anthracnose sur la banane a tendance à écourter sa DVV.

3.3 La maturation de la banane

3.3.1 Les fruits climactériques et les fruits non climactériques

Suivant leur processus de maturation, on peut classer les fruits en 2 catégories, les fruits climactériques qui présentent une forte activité respiratoire liée à la maturation et les fruits non climactériques qui en sont dépourvus.

Chez les fruits climactériques, l'activité respiratoire s'accompagne généralement d'une émission auto catalytique d'éthylène. L'éthylène est une hormone végétale qui initie et contrôle certains points clés de la maturation. L'émission auto catalytique de l'éthylène commence lorsque le fruit acquiert son aptitude à murir et se poursuit même après le détachement du fruit du pied mère.

La maturation peut être aussi déclenchée par l'apport d'éthylène exogène et ou un autre produit analogue.

Pour répondre aux exigences du marché, les bananes sont récoltées à l'état vert et sont muries artificiellement grâce à l'apport d'éthylène exogène.

Chez les fruits non climactériques, la maturation s'arrête dès que le fruit est séparé de la plante mère.

3.3.2 L'éthylène, maturation de la banane et processus physiologiques associés

Les différentes étapes de la biosynthèse de l'hormone sont connues et décrites sur voir figure ci-dessous comprennent la chaîne métabolique suivante :

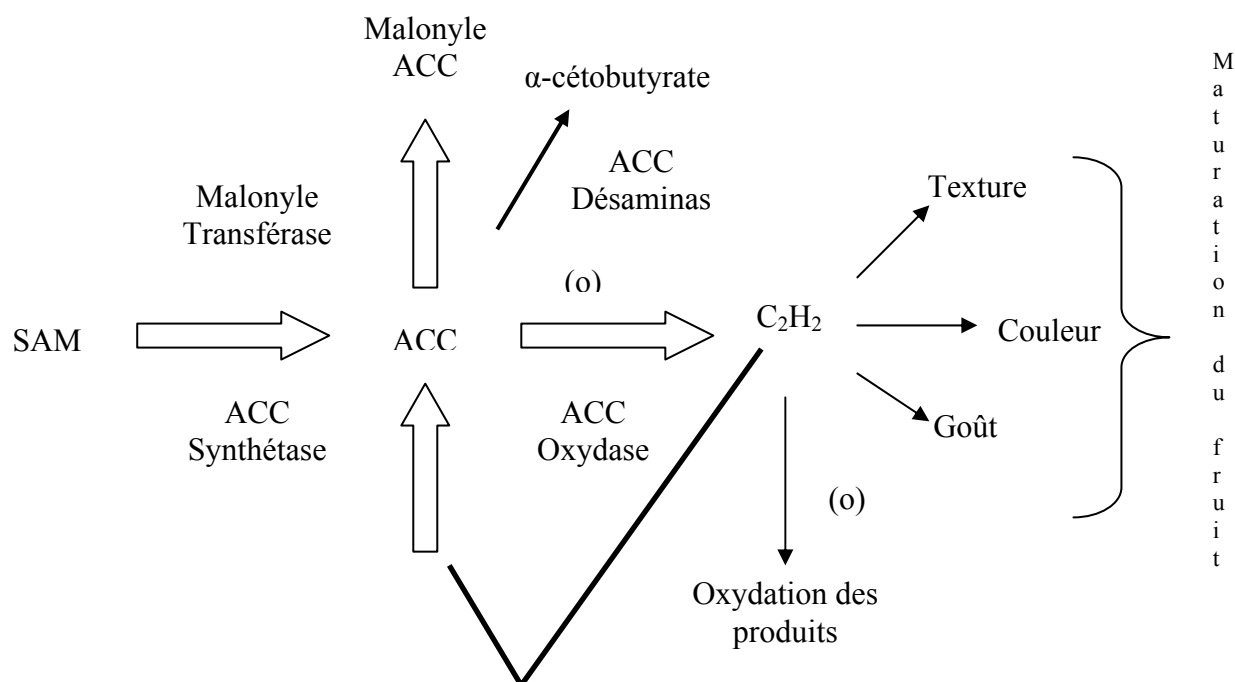


Figure 12. Voies de la biosynthèse des l'éthylène (Happi Emaga et al., 1997)

La première étape correspond à la conversion de la méthionine en S-adénosylméthionine (SAM) par incorporation d'ATP. La SAM est ensuite transformé en acide 1-aminocyclopropane -1 carboxylique (ACC) qui est le précurseur direct de l'éthylène.

L'ACC synthase et l'ACC oxydase sont les deux enzymes qui jouent un rôle clé dans la biosynthèse de l'éthylène. Ces deux enzymes catalysent respectivement la formation de l'ACC à partir de la SAM, et la conversion de l'ACC en éthylène. Au début de la maturation, l'expression des multiples gènes de l'enzyme ACC synthase est activée, ce qui se traduit par une plus grande production d'ACC. Dans la part de cas c'est l'activité de l'ACC synthase qui détermine le taux de biosynthèse de l'éthylène. L'ACC est alors à oxydée en éthylène par l'ACC oxydase (Happi Emaga et al., 2007)

3.3.3 Le processus de maturation de la banane

Chez la banane, tout comme d'autres fruits climatériques, la forte activité respiratoire et le dégagement autocatalytique de l'éthylène qui accompagnent la maturation sont concomitants des modifications biochimiques et physico chimiques comme par exemple le changement de la couleur de la peau et la perte de fermeté (Simmond, 1993 ; Lelièvre et al., 1997; annexe 4). Dans plusieurs cas, le rôle direct de l'éthylène dans l'induction de la néo synthèse d'ARN_m a

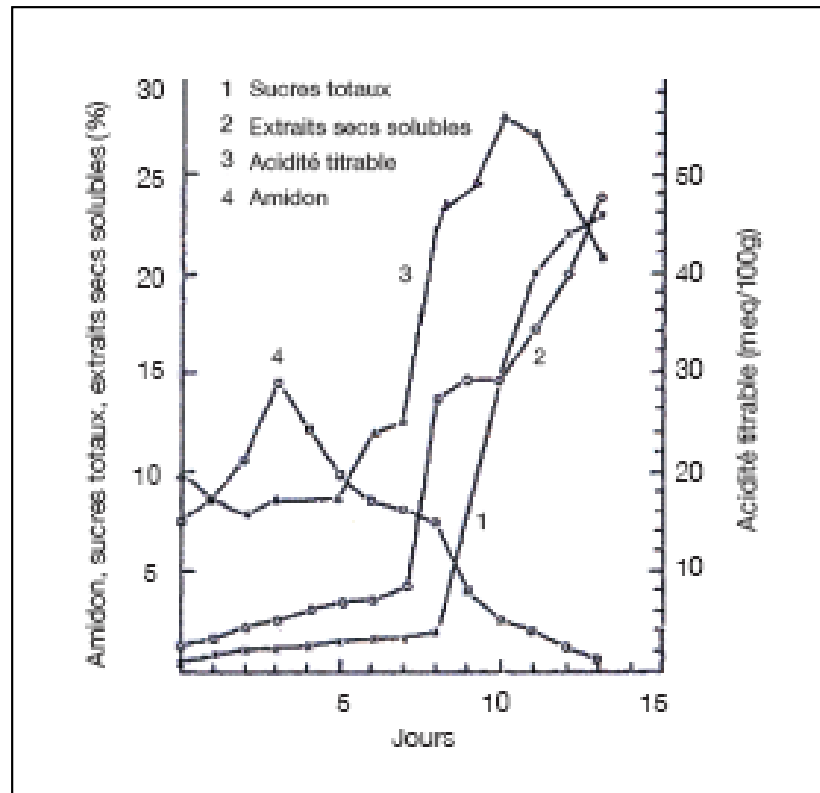


Figure 13: Evolution de l'amidon, des sucres totaux, des extraits secs solubles et de l'acidité titrable dans la pulpe de banane au cours de la maturation. (Happi Emaga et al., 2007)

été démontré. Le traitement des fruits immatures par les inhibiteurs de l'action éthylénique ou par apport d'éthylène exogène, inhibe ou stimule l'accumulation d'ARN_m spécifiques. Des études de traduction et de transcription in vivo et in vitro menées chez la banane ont montré une variation quantitative des protéines et des ARN_m au cours de la maturation du fruit (Dominguez-Puigjaner et al., 1992). Cela suggère que l'éthylène régule le processus de maturation des fruits climatériques en stimulant des modifications de l'expression des gènes. Dès lors s'est développée une approche moléculaire visant, d'une part à identifier les gènes dont l'expression varie au cours de la maturation et, d'autre part à définir les fonctions des protéines correspondantes dans le processus de maturation. De nombreux gènes spécifiques de la maturation et induits par l'éthylène ont pu ainsi être isolés par différentes techniques moléculaire chez la banane (Medina-Suarez et al, 1997).

3.4 Changement au cours de la maturation des fruits

Le mûrissement du fruit est le résultat d'un ensemble de modification, dont beaucoup peuvent se produire indépendamment les uns des autres (Brady, 1987).

Ci-après sont énumérés les changements les plus communément observés pendant le mûrissement des bananes, bananes à cuire et bananes dessert :

- changements dans la couleur de la peau et de la pulpe ;
- conversion de l'amidon en sucres,
- changements dans le rapport pulpe/peau (et la facilité de l'épluchage)
- changements dans la consistance de la pulpe ou ramollissement de la pulpe;
- changements dans le taux d'extrait sec soluble ;
- changements dans le pH et l'acidité titrable totale de la pulpe ;
- changements dans le taux d'humidité et la teneur en matière sèche de la peau et de la pulpe ;
- changements dans l'intensité respiratoire et la production d'éthylène (Dadzi, Orchard, 1997, Seymour, 1997, Marriott, 1980).

Dans les paragraphes suivants ne seront décrites que les modifications en rapport avec l'objet de notre étude.

3.4.1 Changements de la couleur de la peau et de la pulpe

Pendant la maturation, la couleur de la peau et celle de la pulpe subissent des changements qui sont essentiels pour l'évaluation générale de la maturité du fruit. La disparition de la coloration verte est due à la dégradation de la chlorophylle sous l'action des enzymes chlorophyllases. La chlorophylle est dégradée ce qui laisse apparaître d'autres pigments. Les changements extérieurs qui interviennent dans la couleur de la peau pendant le mûrissement s'accompagnent souvent de changements dans la couleur de la pulpe. (Dadzi et Orchard, 1997, Happi Emaga et al., 2007). La coloration de la peau et celle de la pulpe sont donc des critères de sélection importants. La couleur du fruit permet de voir s'il y a détérioration, infection et / ou contamination. Elle est souvent le principal critère utilisé par les chercheurs, les producteurs et les consommateurs pour déterminer si un fruit est mûr ou non (Medlicott et al., 1992).

Au cours du mûrissement la teneur en chlorophylle diminue et passe de 50-100µg/g de matière fraîche à 0 dans le fruit mûr alors que le niveau de caroténoïde reste approximativement à 8µg/g de matière fraîche (Seymour et al., 1993). L'expression de la perception de la couleur suppose une évaluation, une description et un moyen de communiquer les résultats de façon systématique. On utilise à cette fin une échelle colorimétrique ou un colorimètre (Knee, 1980).

3.4.2 Conversion de l'amidon en sucres

Au cours de la maturation la teneur en sucre augmente suite à une dégradation de l'amidon sous l'action des amylases. Les teneurs en acides organiques (acide citrique et malique) diminuent parce qu'ils sont utilisés dans les combustions cellulaires ou transformés en sucres par décarboxylation (Brady, 1987). L'amidon est le polysaccharide le plus abondant dans la banane, il représente environ 20 – 25% du poids de la pulpe fraîche chez le fruit vert. Son hydrolyse enzymatique entraîne une modification prononcée de la structure cellulaire. La transformation biochimique la plus remarquable pendant le mûrissement post-récolte des bananes est l'hydrolyse de l'amidon et l'accumulation de sucres solubles (saccharose, glucose et fructose) dont la présence confère au fruit un goût sucré (figure 5). Cependant cette importante modification biochimiques dont les voies sont de plus en plus connues se produit différemment selon le tissu (peau ou pulpe) et selon le type de banane (dessert ou à cuire) (Madamba et al, 1977 ; Cordenunsi et Lajolo, 1995). Chez la banane dessert (par exemple Cavendish), la décomposition de l'amidon et la synthèse des sucres sont généralement achevées lorsque le fruit est entièrement mûr (stade 6-7 de couleur de peau), tandis que chez la banane plantain, cette décomposition est plus lente, moins complète, et se poursuit dans les fruits "surmûrs" et sénescents (Marriot et al., 1981).

3.4.3 Les acides organiques

Les acides organiques sont responsables de l'acidité des fruits. Les principaux acides organiques que l'on retrouve dans la banane sont :

- l'acide malique dont la formule brute est $C_4H_6O_5$,
- l'acide citrique dont la formule brute est $C_6H_8O_7$,
- l'acide oxalique dont la formule brute est $C_2H_2O_4$.

L'acide oxalique est l'acide le plus abondant dans la pulpe de banane, il représente environ 65% de l'acidité totale lors que l'acide malique et citrique représente respectivement 20% et 10%. (Wyman, 1963). Cependant des études récentes semblent indiquer que ces taux sont variables en fonction de la variété et du stade de développement (Fils-Lycaron et al., données non publiées)

Les acides organiques sont localisés dans les vacuoles des cellules, soit à l'état libre, soit sous forme de sels. Leur neutralisation partielle par les cations minéraux K^+ et Ca^{++} atténue l'intensité du goût acide. Pour une teneur identique, l'acide citrique (triacide) donne une acidité supérieure à l'acide malique. La teneur en acides et leur force explique les faibles valeurs du pH des fruits. L'acidité totale représente la somme de tous les acides (minéraux et organiques) présents dans le jus et s'exprime en milliéquivalent pour un litre de jus de fruit ou pour 100g de matière fraîche (Couturier, 2003).

3.4.1 Principaux facteurs influençant le processus de maturation de la banane

Effet de la température

Les basses températures sont appliquées pour prolonger la durée de survie des fruits dans la limite de leur sensibilité à ces températures car le froid ralentit le métabolisme. Pour chaque type de fruit, il est impératif de déterminer la durée et la température ayant des effets bénéfiques sur la maturation et la qualité du fruit. En dessous de 12 °C, le froid cause des dommages à la banane (Pech et al., 2003).

Effet de l'oxygène

Il existe une corrélation inverse entre l'activité respiratoire et la durée de conservation des fruits de sorte que les faibles taux d'oxygène permettent de prolonger leur durée de survie et de ralentir la maturation. Par ailleurs l'oxygène est un substrat de l'ACC oxydase (Pech et al., 2003).

Effet du dioxyde de carbone

Les taux élevés de CO₂ sont considérés comme inhibiteurs de l'action de l'éthylène. Le CO₂ limite alors l'induction auto catalytique de l'ACC synthétase et réduit le métabolisme respiratoire (Pech et al., 2003).

L'utilisation de sac en polyéthylène fermé a pour effet de réduire la perte en eau, de réduire la concentration en oxygène et d'augmenter la quantité de CO₂, le tout avec l'objectif de prolonger la période pré climatérique. Ces sacs sont largement utilisés.

La réduction de l'oxygène et l'augmentation du CO₂ réduisent la respiration. L'augmentation du CO₂ va inhiber la synthèse de l'éthylène. Une haute humidité retarde la synthèse de l'éthylène en empêchant de la perte d'eau (Robinson, 2006).

3.5 La phase de sénescence

Au delà de l'état de maturité, les fruits entrent dans une période de sénescence conduisant à la désorganisation cellulaire et à la mort. Les changements biochimiques sont nombreux : augmentation de la production d'éthylène, de la respiration et de l'émission de composés organiques volatils, hydrolyse de l'amidon et diminution des acides organiques, synthèse des pigments, régression de la chlorophylle et solubilisation des composées pectiques (Thomas Happi Emaga et al., 2007 ;Grierson et al, 1981).

4 La qualité nutritionnelle de la banane

Tableau 2. Composition de la banane dessert (Pour 100g de pulpe fraîche) Lassoudière, 2007

Composants	En g pour 100g de pulpe fraîche
Protéines	1
Lipides	0,48
Glucides	19 à 23
Fibres	2,0 à 3,4
Eau	74
Minéraux	En mg pour 100g de pulpe fraîche
Potassium	380 à 400
Phosphore	30
Calcium	6 à 9
Magnésium	30 à 45
Sodium	1
Bore	0,38 à 0,53
Fer	0,3 à 0,7
Cuivre	0,2
Zinc	0,25
Soufre	10
Manganèse	0,45
Vitamines	En mg pour 100 g de pulpe fraîche
Vitamine B1	0,04
Vitamine B2	0,07
Vitamine B3	0,6
Vitamine B5	0,26
Vitamine B6	0,42
Vitamine B9	33
Vitamine C	10
Vitamine D	0
Vitamine E	0,4
Apports énergétiques	Kcal
Energie	82 à 92

La banane est un fruit très énergétique. Sa richesse en glucides, potassium, magnésium et vitamines du groupe B en fait un fruit excellent pour le travail des muscles.

La banane apporte près du double de l'énergie de fournie par la pomme et 3 fois celles des agrumes. (Lassoudière, 2007). En 2007, la consommation de banane en France était de 10 kg/habitant. En 2006 celle-ci était de 9,5 kg/habitant (Ministère de l'agriculture et de la pêche, 2007)

5 Filière de commercialisation de la banane export

A maturité commerciale les bananes sont coupées en « vert » et acheminées vers un centre d'emportage. Les mains sont détachées des régimes (dépavage), nettoyées, triées et classées selon 3 catégories de diamètre différents: extra, catégorie 1, catégorie 2. Les fruits sont ensuite disposés dans des cartons, palettisés et entreposés dans les conteneurs réfrigérés avant d'être transportés par voie maritime vers les différents ports (le Havre, Dunkerque, Marseille).

Arrivé à destination, les conteneurs sont dispatchés vers les différentes mûrisséries où les bananes seront traitées à l'éthylène de façon à déclencher le processus de murissage. Les mûrisséries revendent ensuite les bananes aux commerces, à la grande distribution.

Chaque responsable de mûrissérie choisit le protocole le plus adapté à l'état physiologique des bananes à l'arrivée et aux besoins du marché. Le mûrissage est décomposé en 2 étapes :

- augmentation de la température,
- apport d'éthylène gazeux et ventilation à une température de maintien.

La durée totale du murissage varie de 4 à 8 jours selon le programme de température choisi. Habituellement les températures de départ sont comprises entre 15 et 18°C. Selon le protocole de murissage choisi (4, 6 ou 8 jours après un jour de gazage), la température de la chambre est diminuée progressivement mais jamais au dessous de 13°C à cause du risque de frisure.

Exemple de murissage :

- Mûrissage en 4 jours : 2 jours à 18°C, puis 1 jour à 16°C, et 1 jour à 14°C
- Mûrissage en 6 jours : 2 jours à 16°C, puis 1 jour à 15°C, et 3 jours à 14°C
- Mûrissage en 8 jours : 8 jours à 14°C (Lassoudière, 2007).

6 Problématique

Les travaux réalisés durant mon stage s'inscrivent dans le cadre du programme d'amélioration variétale visant à proposer aux consommateurs des variétés de banane aux qualités organoleptiques et nutritionnelles améliorées et plus en adéquation avec leurs besoins. L'exploitation optimale des variétés existantes couplée à d'autres approches comme la création des nouvelles variétés peuvent contribuer à l'aboutissement de cet objectif.

Il est aujourd'hui admis que la qualité organoleptique et nutritionnelle des fruits s'élabore au cours d'une phase importante de son développement qu'est la maturation. Pour les fruits climactériques comme la banane, la maturation est un processus complexe mettant en jeu de nombreux mécanismes pour la plus part initiés et contrôlés par l'éthylène. De nombreux facteurs sont connus pour affecter la maturation du fruit au champ et/ou après récolte et donc le devenir de sa qualité organoleptique et nutritionnelle. Parmi ceux-ci on notera le stade de récolte du fruit, tout comme les conditions dans lesquelles est induite sa maturation. Chez la variété de banane Cavendish, alors que la plupart des travaux menés jusqu'à présent l'ont été sur des fruits récoltés à la date de maturité commerciale, de récents travaux de mesures sur les fruits récoltés à différents stades de développement en vert, respectivement à 60 et 90 JAF (jour après floraison) ont mis en évidence une différence en termes de profil et de teneur d'éthylène produit. Comparés aux fruits récoltés à 90 JAF, les fruits récoltés à 60 JAF produisent plus d'éthylène et de manière continue tout au long de la maturation post-récolte.

L'objectif de ce stage était d'examiner l'effet de la date de récolte et des conditions d'induction de la maturation sur l'évolution post-récolte de la qualité de la banane Cavendish évaluée sur la base des critères mécaniques (couleur, fermeté), organoleptiques (sucres solubles et acides organiques) et nutritionnelle (nature et teneur en minéraux).

PARTIE II

MATERIEL ET METHODE

1 Matériel

Les expérimentations décrites dans ce mémoire ont été réalisées sur les fruits du cultivar Grande naine (*Musa triploïde* AAA, Cavendish, cv Grande Naine) produit sur les parcelles d'expérimentations du CIRAD, site Neufchâteau (altitude: 250 m; andosol; pluviométrie: 3500 mm / an) en Guadeloupe et selon les pratiques culturales de la filière.

1.1 Récolte et échantillonnage

Les fruits ont été récoltés à deux stades de développement en vert 60 et 90 jours après floraison (stade doigts horizontaux) déterminés selon le concept de sommes de températures qui consiste à considérer que la vitesse de développement varie de façon linéaire avec la température qui consiste à considérer que la vitesse de développement varie de façon linéaire avec la température (Ganry et Meyer, 1975). Concrètement, les températures sont enregistrées quotidiennement à l'aide d'un capteur de température de type (TINY TAG PLUS) à un intervalle de 10 minutes. La somme de température ST_j accumulée par le fruit à un jour j est calculée par la formule suivante :

$$ST_j = \sum_0^j T-14$$

\sum_0^j = Somme de température du jour 0 (date de floraison) au jour j

T-14= température moyenne journalière enregistrée par les capteurs-14. La température 14°C représentant le 0°C de végétation de la banane Cavendish c'est à dire la température la plus basse au dessus de laquelle la croissance est positive.

Pour chaque stade de récolte, les fruits (en excluant les doigts externes) ont été prélevés sur la main médiane du régime dont le développement des doigts est considéré comme homogène (Liu, 1976). Environ 70 fruits ont été récoltés pour chaque stade de récolte, puis trempés pendant deux minutes dans un bain contenant un traitement fongique afin de lutter contre l'anthracnose (nom commerciale : Baycor, Matière active : Bitertanol 300 G/L, dose utilisée 200 ppm/L d'eau) avant d'être stockés 24 heure à 20°C.

1.2 Traitements et stabilisation du matériel

Pour les traitements et pour chaque stade de récolte, les fruits ont été répartis en quatre lots : un lot «control» d'au moins 3 fruits et trois lots «expérimentaux» d'au moins 63 fruits. Trois types de traitements (M1, M2 et M3) ont ensuite été appliqués aux lots « expérimentaux » et à 20°C pour induire la maturation. Le lot « control » a quant à lui été laissé à l'air pendant toute la durée du traitement.

M1: application pendant 24h de 1000 ppm d'acétylène (un analogue de l'éthylène),

M2: application pendant 18h de 10000 ppm d'acétylène + 6h de stockage à l'air,

M2: application pendant 24h de 10000 ppm d'acétylène.

Au terme de chaque traitement, les fruits sont laissés à l'air. Pour chacun des stades de récolte, trois fruits sont prélevés tous les jours pendant 7 jours et soumis aux mesures de critères mécaniques (couleur, fermeté de la pulpe, dureté de la peau et dégrain). Les tissus de peau et de pulpe sont séparés et la pulpe des trois fruits est coupée en menu morceaux, congelée dans de l'azote liquide puis stockée à -80°C pour des analyses de sucres, acides organiques et minéraux.

2 Méthodes

2.1 Mesure des critères mécaniques

2.1.1 Couleur de la peau

L'évolution de la couleur de la peau est mesurée quotidiennement à l'aide du colorimètre. Pour cela on utilise un chromamètre Minolta CR-200 selon les recommandations du fabricant (voir Fig. 6, ci-dessous).



Figure 14: Mesure de la couleur au chromamètre

2.1.1 Dureté de la peau, fermeté de la pulpe et dégrain

Les mesures de la dureté de la peau, de la fermeté de la pulpe et du dégrain sont toutes effectuées à partir d'un analyseur de texture. Il s'agit d'un pénétromètre « TA-XT2 texture analyser » couplé à un logiciel X-TRAD. L'évaluation de la dureté de la peau et de la fermeté de la pulpe, s'est effectuée à l'aide d'une sonde métallique cylindrique de 2 cm de long et d'une surface de 19,6mm². Celle-ci pénètre le fruit à une vitesse constante de 2mm.s⁻¹ jusqu'à une profondeur de 15mm (Bugaud et al, 2006 ; Chillet et al. 2008).

La fermeté de la pulpe se définit comme la force appliquée sur la pulpe pendant 1 seconde après la rupture de la peau. Elle s'exprime en Newton.

Le dégrain se définit comme étant le détachement du pédoncule au coussinet de la hampe. Il s'agit de mesurer la force nécessaire pour rompre le pédoncule de la banane. On utilise une sonde métallique munie d'un embout spécifique en forme de fer à cheval (Fig.7A). La sonde exerce une force sur le pédoncule à une vitesse de 4mm/seconde sur une profondeur de 40 mm. Le principe repose sur la résistance du fruit à une force constante. Suivant le type de mesure souhaité, un embout sera adapté à l'appareil. La force exercée pour la rupture est exprimée en newton (Fig. 7B)

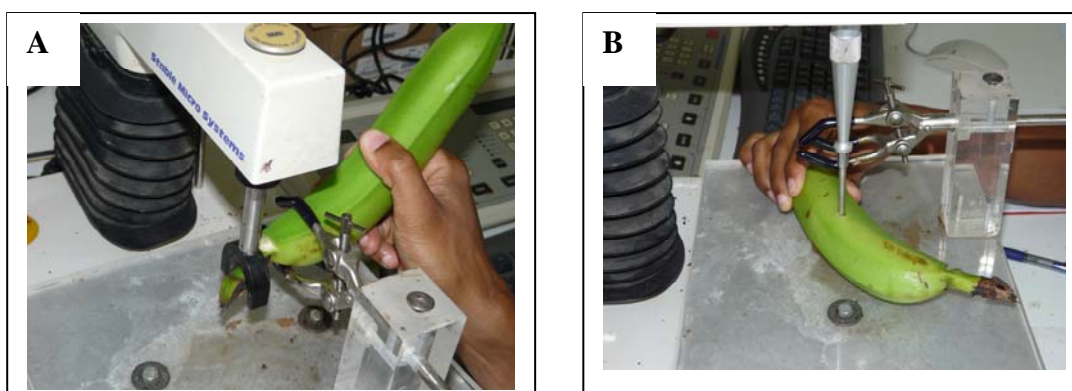


Figure 15 : Méthode de mesure du dégrain (A) et, de la dureté de la peau et la fermeté de la pulpe (B)

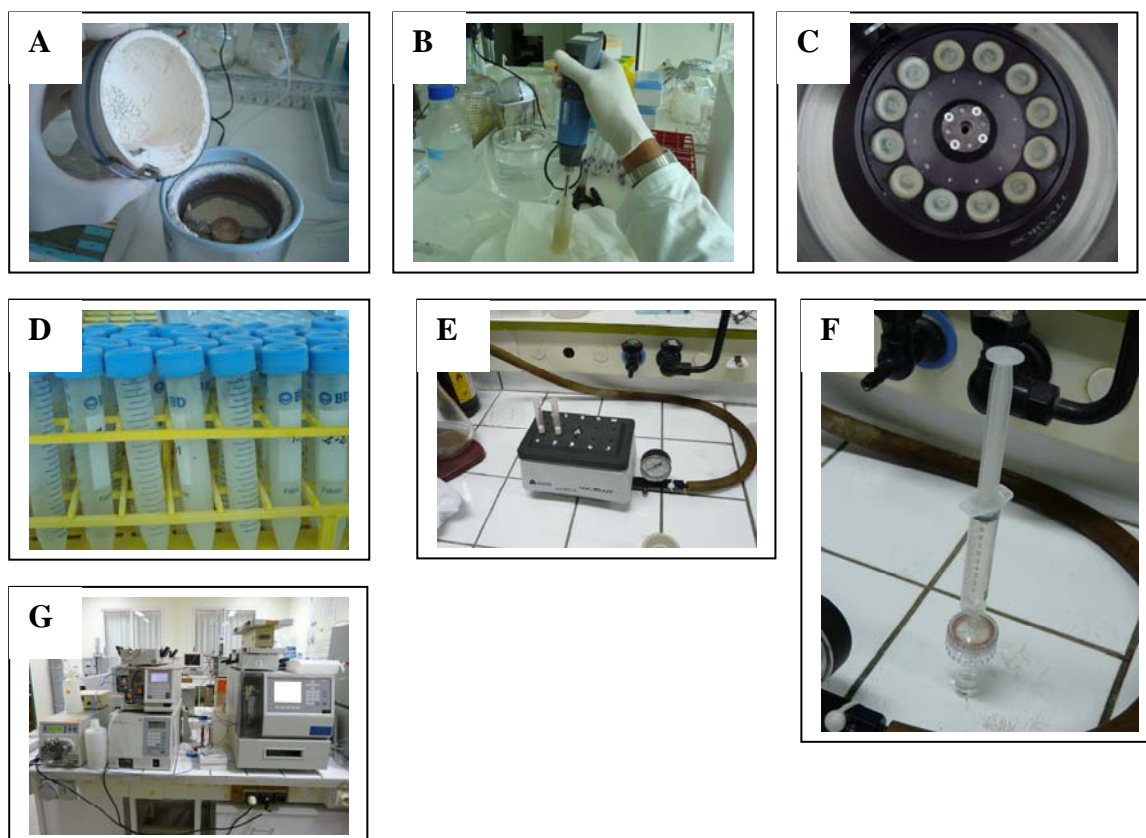


Figure 8: Illustration des principales étapes d'extraction et de dosage des sucres solubles et des acides organiques.

A : Broyage de la pulpe fraîche après passage à l'azote liquide

B : Homogénéisation d'une solution aqueuse composé de 1,8-2g de pulpe et de 20ml d'eau pure

C : Centrifugation de la solution pendant 10 min à 15000 g, à 4 °C.

D : La solution est filtrée avant d'être répartie dans des tubes Falcon en vue des analyses de sucres et d'acides organiques

E : Nouvelle filtration sur une colonne Vac Elut

F : Nouvelle filtration sur filtre de 0,45µm de diamètre

G : Analyse par HPLC

2.2 Dosage des sucres solubles et acides organiques

L'ensemble des opérations est effectuée au froid et des précautions sont prises de façon à ne pas rompre avec la chaîne du froid.

2.2.1 Extraction

Les sucres solubles (saccharose, glucose et fructose) ont été dosés selon le protocole décrit par Fils-Lycaon et al., (2008). Les étapes principales sont illustrées dans la figure 8. La pulpe de banane congelée est broyée dans un moulin à café. Une fraction (1,8-2g) de la poudre ainsi obtenue est prélevée et placée dans des tubes à centrifugation de type polypropylène de 50ml préalablement refroidi. Vingt ml d'eau froide distillée et autoclavée sont ajoutés à la poudre végétale et l'ensemble est homogénéisé pendant 1 min au moyen d'un appareil ULTRA-TURRAX T8 (Fischer Bioblock Scientific, Illkirch, France). Le mélange est centrifugé pendant 10 min à 15000 g, à 4 °C. Dix huit millilitres (18 ml) de surnageant sont filtrés sur un filtre en nylon d'une porosité de 0,45µm, purifiés par un passage dans une colonne de type C18 Vac cartridge préalablement activée à l'éthanol. La colonne est montée sur un dispositif Vac Elut couplé à une moto pompe dont la pression est maintenue inférieure à 15 bars. L'extrait purifié est réparti à part égale dans deux tubes Falcon® de 15 ml, pour des mesures de sucres et d'acide organiques. Deux extractions ont été réalisées par stade de maturation post récolte et pour chaque extraction 3 mesures de sucres et d'acides organiques ont été réalisés.

2.2.2 Dosage des sucres

Le saccharose, le glucose et le fructose contenus dans la fraction purifiée sont analysés par HPLC (Chromatographie Liquide à Haute Performance, Fig. 9) couplé à un détecteur infrarouge (température de la colonne 80°C, débit liquide 0,5ml.min⁻¹). La concentration en sucres calculée par rapport à une courbe standard.

2.2.3 Dosage des acides organiques

L'acide malique, l'acide citrique et l'acide oxalique contenus dans la fraction purifiée sont séparés par HPLC (température du four 37°C, débit liquide 0,7ml.min⁻¹) couplé à un détecteur ultraviolet (Fig 9). La concentration en acide est calculée par rapport à une courbe standard.

2.3 Dosage des minéraux

2.3.1 Préparation des échantillons pour le dosage du Ca, Mg, K, Mn, Cu, Fe et Zn

L'échantillonnage des minéraux se fait à partir de la matière sèche. Les principales étapes sont illustrées dans la figure 11. A cette fin, une partie de la pulpe stockée et congelée à -20°C a été séchée à l'étuve (70°C). Le poids des échantillons est relevé tous les jours jusqu'à ce qu'il devienne stable. Les échantillons séchés sont ensuite broyés à l'aide d'un broyeur à fléaux de type RETSCH AE 200, muni d'un filtre de 0,2mm. Le broyat directement filtré est récupéré dans un tube alors que l'autre partie, plus grossière est passée au vibro broyeur de type RETSCH MM 2000. L'objectif est de broyer finement les particules (diamètre ≤ à 0,2mm). Les différents broyats sont de nouveau séchés à l'étuve (70°C) pour éliminer l'humidité résiduelle. Un demi gramme (0,5g) de pulpe est prélevé dans des coupelles au moyen d'une balance de

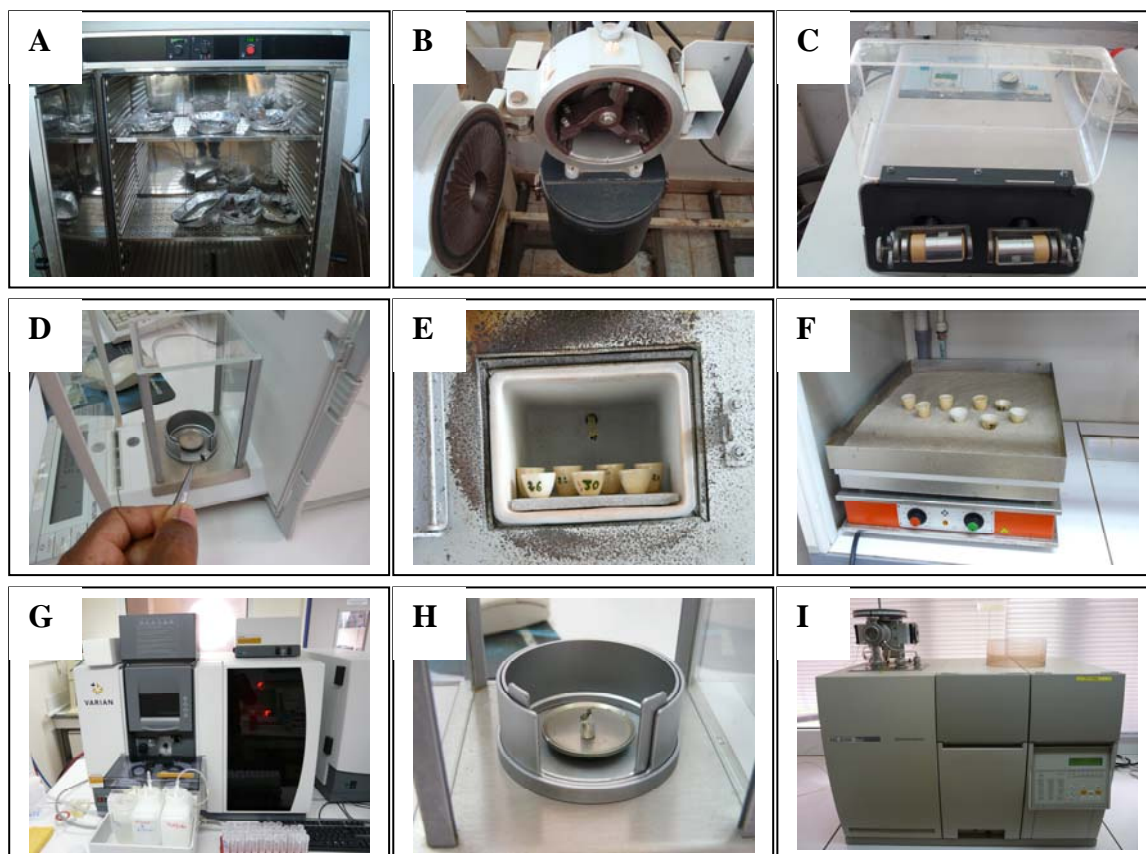


Figure 9: Illustration des principales étapes d'extraction et de dosage des minéraux

A : Séchage de la pulpe à l'étuve à une température de 70°C

B : Broyage à l'aide d'un broyeur à fléaux de type RETSCH

C : Passage vibro broyeur de type RETSCH

D : Pesée de la pulpe sèche à l'aide d'une balance de précision

E : Minéralisation dans un four à moufle chauffé à 520°C

F : Séchage dans un bac à sable afin l'éliminer la silice

G : Analyse des minéraux à l'aide du spectrophotomètre à absorption atomique

H : Prélèvement de 5mg de pulpe sèche dans une nacelle en étain en vue des dosages d'azote

I : Analyseur CHN

précision de type METTLER AE200. La fraction prélevée est minéralisée pendant environ 4 heures dans un four à moufle chauffé à 520°C. L'extrait végétal calciné ainsi obtenu est stocké dans un dessiccateur pour les dosages des minéraux.

2.3.2 Dosage du Ca, Mg, K, Mn, Cu, Fe et Zn

L'extrait végétal est suspendu dans 2 gouttes d'eau pure et 5ml d'acide chlorhydrique (HCl) concentré puis mis à sécher à 125°C sur un bac à sable chauffant afin d'éliminer la silice. La silice est éliminée de façon à pouvoir doser le phosphore par colorimétrie sachant que la silice donne un complexe silicivanadomolybdate jaune, adsorbé sur la même longueur d'onde que le phosphore. L'extrait dépourvu de silice est de nouveau suspendu dans 5ml d'eau ultra pure et séché de nouveau à 125°C. L'extrait séché est resuspendu une troisième fois dans 10ml de HCl dilué à 10% et le mélange filtré sur papier WATMAN. Dans la fiole, le volume du filtrat est porté à 100ml.

Une fraction de ce filtrat est utilisée pour l'analyse des minéraux à l'aide d'un spectrophotomètre à absorption atomique. Pour se faire la solution est atomisée par une flamme air/acétylène puis excitée par une lampe de longueur d'onde spécifique à l'élément à analyser. La quantité de photons absorbée par les atomes est alors mesurée. Les teneurs en minéraux sont déterminées à partir d'un standard externe.

2.3.3 Préparation des échantillons pour le dosage de l'azote

Cinq milligramme (5 mg) de pulpe préalablement broyés et séchés sont prélevés dans une nacelle en étain (Fig 9) laquelle est ensuite fermée à l'aide d'une pince Béta 991 et ensuite aplatie à l'aide d'une plaque Potacamp Sgillatore. L'extrait végétal ainsi préparé est passé dans un analyseur élémentaire CHN (Carbone, Hydrogène, Azote). L'azote contenu dans l'extrait végétal est déterminé de la manière suivante :

L'échantillon solide est placé dans le passeur de l'Analyseur élémentaire CHN NC SOIL CE Instrument où il est ensuite dirigé dans une colonne de combustion. Il subit en présence d'oxygène une combustion flash à 1850 °C, libérant ainsi des gaz élémentaires CO₂, NO₂, H₂O, H₂. Ces molécules sont entraînées par un gaz vecteur l'hélium jusqu'à la colonne de réduction pour donner du CO₂, N₂, H₂O. L'eau est piégée sur un adsorbeur et les gaz N et C sont séparés par une colonne chromatographique et la détection se fait par un détecteur catharométrique (Mesure de la conductibilité thermique des gaz).

PARTIE III

RESULTATS ET DISCUSSIONS

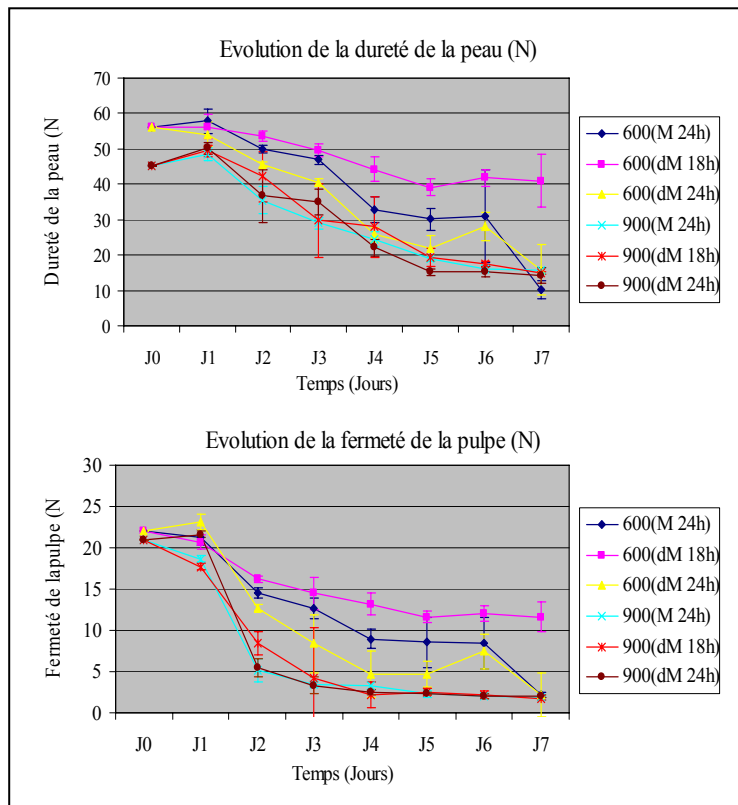


Figure 10: Evolution des critères mécaniques, exprimés en newton

A : Evolution de la dureté de la peau

B : Evolution de la fermeté de la pulpe

RESULTATS ET DISCUSSION

L'objectif des travaux décrits dans ce rapport était d'examiner, en fonction de leur date de récolte, l'effet des conditions d'induction sur la maturation post-récolte des fruits. Deux stades de développement en vert, 60 et 90 JAF (jours après floraison) et 3 conditions d'induction de la maturation, M1 (1000 ppm d'acétylène/24h/20°C), M2 (10000 ppm d'acétylène/18h/20°C) et M3 (10000 ppm d'acétylène/24h/20°C) ont été testées. La qualité post-récolte des fruits a ensuite été évaluée à travers les mesures des critères mécaniques (fermeté de la pulpe et dureté de la peau), organoleptiques (sucres solubles et acides organiques) et fonctionnels c'est-à-dire compatible avec la filière (couleur de la peau et dégrain). Le choix des deux stades de récolte (60 et 90 JAF) relève du fait qu'ils présentent un comportement post-récolte contrasté en terme de profil et de quantité d'éthylène produit lorsque leur maturation est induite en conditions M3 (Mbéguié-à-Mbéguié et al., 2007).

1 Evolution des critères mécaniques

La perte de fermeté du fruit (couplée chez la banane à la dureté de la peau) est aujourd'hui connu comme étant un des critères des plus sensibles à l'éthylène (Flores et al., 2008 ; Lelièvre et al., 1997). Chez la banane, il a été utilisé pour apprécier la DVV du fruit (Deullin et Monnet, 1956). Ce qui fait de ce critère un bon indicateur du processus de maturation d'où l'intérêt supplémentaire qui a été porté à ce critère.

La dureté de la peau et la fermeté de la pulpe ont été mesurées au pénétromètre et les résultats exprimés en newton (N) sont présentés dans la figure 10. La fermeté de la peau et la dureté de la pulpe diminuent tout au long de la maturation du fruit, ce quelque soit le stade de récolte et le traitement. Cependant, si l'on considère la vitesse de la perte de fermeté et de dureté aucune différence n'est observée chez les fruits récoltés à 90 JAF quelque soit le mode d'induction de la maturation. En revanche, la dureté de la peau diminue plus lentement chez les fruits récoltés à 60 JAF induits en conditions M2 comparé aux autres fruits.

De même, une diminution plus lente de la perte de fermeté est observée chez tous les fruits récoltés à 60 JAF comparé à ceux récoltés à 90 JAF. Les fruits récoltés à 60 JAF induits en conditions M2, présentent une fois de plus la vitesse de perte de fermeté la plus faible.

2 Evolution des critères fonctionnels

Deux critères fonctionnels, c'est à dire en rapport avec les contraintes de la filière, ont été évalués dans cette étude : la couleur et le dégrain. Chez la banane, la couleur du fruit est un des critères les plus importants qui détermine l'acte d'achat du consommateur. Pour la filière, elle sert de base à la classification des bananes mises sur le marché.

Le dégrain se définit comme étant la rupture entre le pédoncule et le reste du fruit avec parfois des effets sur leur durée de vie commerciale. Ce processus qui survient généralement au cours de la maturation se produit lors de la manipulation des fruits par le consommateur durant l'acte d'achat. Il se traduit généralement par la chute des doigts d'une main, lesquelles se séparent ainsi du coussinet. De tels fruits pour cause de perte de leur valeur commerciale, sont systématiquement écartés du circuit commercial avec des pertes économiques pour les acteurs de la filière.

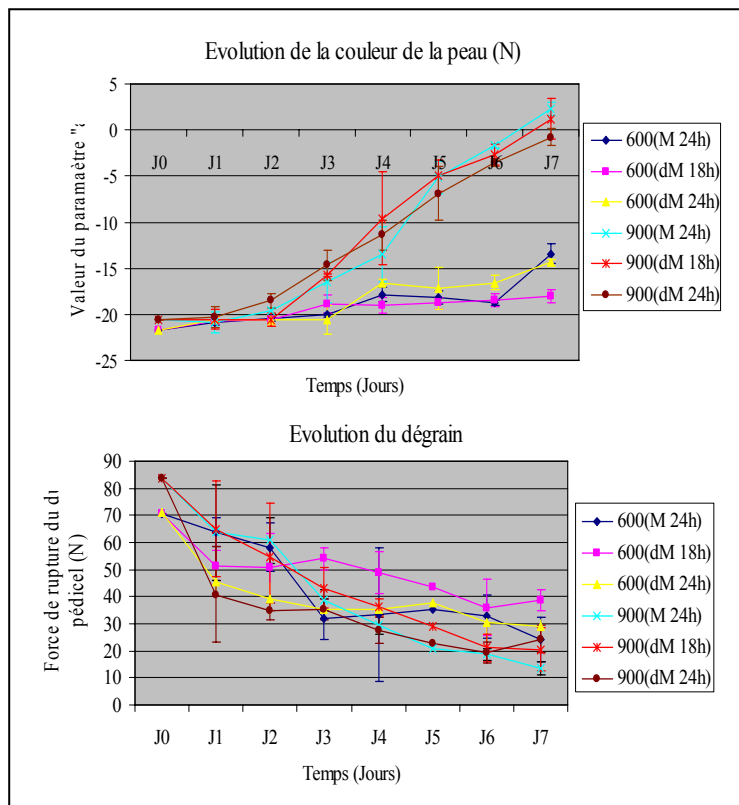


Figure 11: Evolution des critères fonctionnels

A : Evolution de la couleur de la peau « a"

B : Evolution du dégrain, exprimée en newton

Evolution de la couleur

La couleur du fruit a été mesurée au chromatomètre et exprimée à travers le paramètre « a » qui traduit le passage du vert au jaune. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 11a. Ils présentent deux profils nettement différents. Dès le troisième jour après l'induction de la maturation, sont notés d'un côté les fruits récoltés à 90 JAF aux valeurs de « a » plus élevées et de l'autre, ceux récoltés à 60 JAF aux valeurs de « a » faibles. Les premiers présentent un changement de couleur du vert au jaune plus rapide et ce quelque soit le traitement d'induction de la maturation avec des valeurs de « a » qui augmentent dès le troisième jour après l'induction de la maturation. Chez les fruits récoltés à 60 JAF, le changement de couleur du vert au jaune est plus lent avec des valeurs de « a » d'environ 15 fois inférieures à celle des fruits récoltés à 90 JAF. Pour un stade de récolte donné, aucune différence n'a été observée d'un traitement à l'autre.

Evolution du dégrain

La force de rupture du pédoncule exprimée en newton a été mesurée au cours de la maturation post-récolte du fruit pour évaluer le dégrain. Elle est inversement proportionnelle au dégrain. Les résultats sont présentés sur la figure 11b. Ils montrent que chez tous les fruits quelque soit leur date de récolte et le traitement d'induction de la maturation, une diminution de la force de rupture du pédicelle et donc une augmentation du dégrain progressive au cours de la maturation. On remarque cependant que :

- les fruits récoltés à 60 JAF et induits en condition M2 présentent un profil de dégrain différents de tous les autres.
- pour les autres fruits, les différences majeures sont observées entre les jours 0 (date de récolte) et 3 après induction de la maturation. Au-delà, le niveau de dégrain est comparable chez tous les fruits quelque soit leur stade de récolte et le traitement appliqué pour induire la maturation. Sur ce point, l'application de 10000 ppm d'acétylène pendant 24h induit un dégrain plus important chez tous les fruits indépendamment de leur stade de récolte.

3 Evolution des critères organoleptiques

Au cours de cette étude les teneurs en sucres solubles (saccharose, glucose et fructose) et acides organiques (acide malique, citrique et oxalique) ont été mesurées durant la maturation post-récolte des fruits. Le rôle de l'équilibre sucres/acides organiques dans la qualité organoleptique des fruits est aujourd'hui reconnu. Le choix de l'acide malique, citrique et oxalique relève du fait que ce sont les acides organiques majoritairement présents chez la banane (Wayman, 1964) Robinson, 1996). De plus, concernant l'acide oxalique, un rôle d'agent anti-brunissement lui a été trouvé chez la laitue et l'endive (Costañer et al., 1997), les disques de banane (Yoruk et al., 2002) et le litchi (Zheng et Tian, 2006), de régulateur du processus de maturation post-récolte de la mangue (Zheng et al., 2007) et d'antioxydant naturel dans les système *in vitro* (Kayashima et Katayama, 2002).

Evolution de la teneur en sucres solubles

Les teneurs en saccharose, glucose et fructose du fruit au cours de leur maturation post-récolte est représentée sur la figure 13 (graphes A à C). Ces trois composés présentent un profil d'accumulation similaire avec une augmentation progressive au fur et à mesure qu'avance la maturation. On remarque cependant que chez :

- de manière globale, les teneurs en saccharose, glucose et fructose sont plus élevées chez les fruits récoltés à 90 JAF que chez ceux récoltés à 60 JAF. Ceci peut s'expliquer par une teneur en amidon, au moment de la récolte, plus importante chez les fruits récoltés à 90 JAF que ceux récoltés à 60 JAF. Ceci peut s'expliquer par une teneur en amidon, précurseur du saccharose,

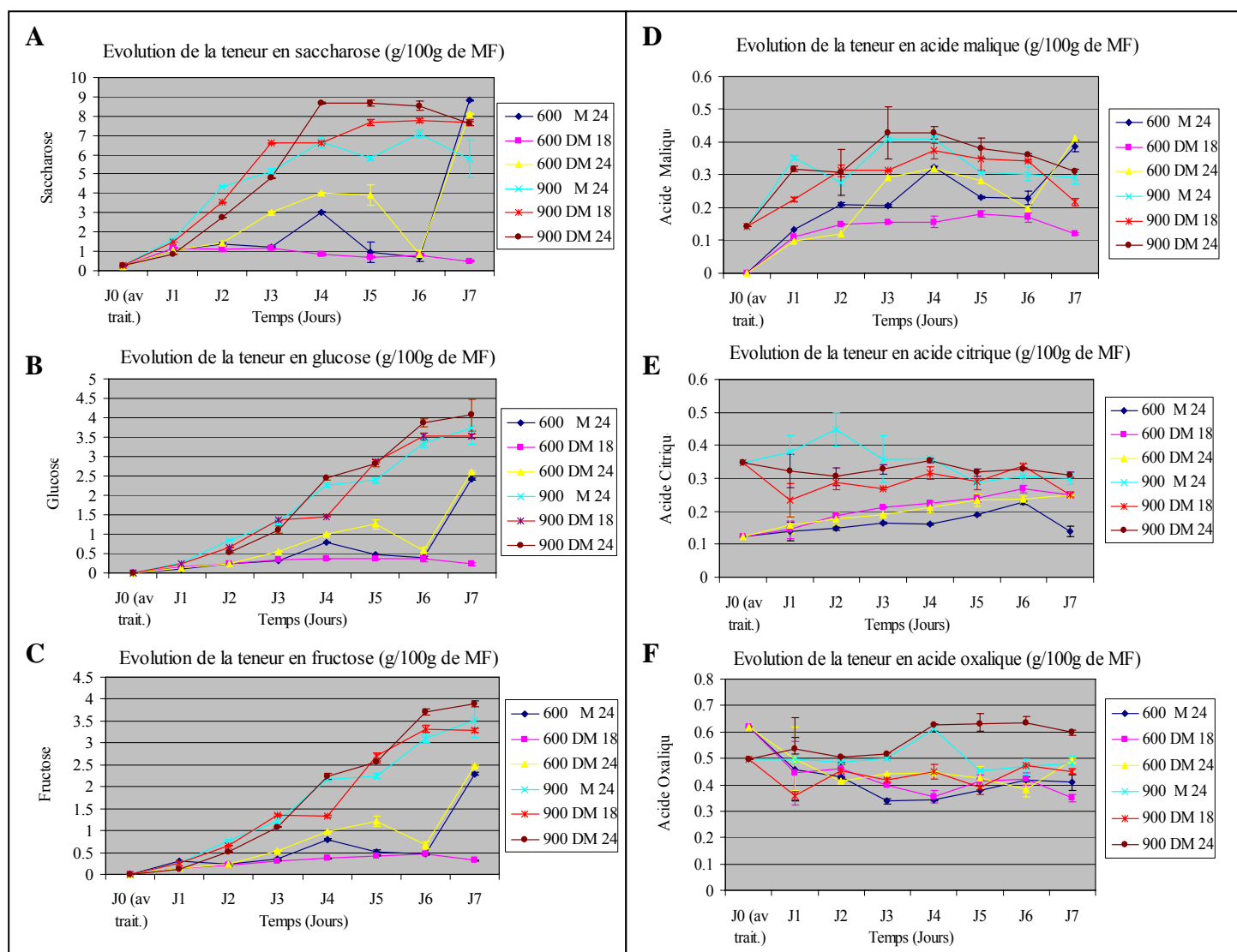


Figure 16: Evolution des critères organoleptiques, exprimée en g/100g de matière fraîche

A : Evolution de la teneur en saccharose

B : Evolution de la teneur en glucose

C : Evolution de la teneur en fructose

D : Evolution de la teneur en acide malique

E : Evolution de la teneur en acide citrique

F : Evolution de la teneur en oxalique

glucose et du fructose plus importante au moment de la récolte chez les fruits récoltés à 90 JAF que chez ceux récoltés à 60 JAF.

- Chez tous les fruits, l'accumulation du glucose et du fructose ne s'accompagne pas d'une diminution dans la même proportion du saccharose leur précurseur. Ceci suggère une dégradation incomplète du saccharose alors que sa synthèse se poursuit.

- Si pour les fruits récoltés à 90 JAF, les conditions d'induction de la maturation n'affectent pas l'évolution des teneurs en sucres solubles, il en est tout autrement chez les fruits récoltés à 60 JAF. En effet, chez ces derniers les fruits dont la maturation est induite en condition M2 (10000 ppm/18 heures) n'accumulent pas de sucres solubles contrairement à ceux traités en conditions M1 et M3 (1000 et 10000 ppm/24 heures). Ces résultats suggèrent qu'en termes de délais de réponse, les mécanismes physiologiques responsables d'une part de l'accumulation du saccharose et, d'autre part, de sa dégradation en glucose et fructose se déclenchent différemment selon le stade de développement du fruit. La durée de traitement semble être un paramètre plus important que la dose appliquée pour induire le déclenchement de ces mécanismes. Une durée minimale de 18 heures de traitement est suffisante pour déclencher le mécanisme chez les fruits récoltés à 90 JAF alors qu'une durée de 24 heures est nécessaire pour les fruits récoltés à 60 JAF. Ceci peut s'expliquer par le fait que les mécanismes physiologiques ne sont que partiellement mis en place chez le fruit à 60 JAF alors qu'ils le sont totalement chez les fruits récoltés à 90 JAF. Par conséquent, le déclenchement de ces mécanismes chez les fruits récoltés à 60 JAF, nécessite des conditions plus stringentes (24 heures minimum) que chez ceux récoltés à 90 JAF (18 heures) ou alors, à condition d'induction égale, ces mécanismes sont déclenchés plus tardivement chez les fruits récoltés à 60 JAF que chez ceux récoltés à 90 JAF.

- Les voies métaboliques associées au métabolisme des sucres ont été largement étudiées chez la banane. Les étapes clé qui régulent la synthèse du saccharose et sa dégradation en glucose et fructose sont connues (Hubbard et al., 1990 ; Do Nascimento 1997 ; 2000). Il serait intéressant d'examiner au niveau biochimique et moléculaire la dynamique de mise en place de ces mécanismes tels que semble le suggérer l'évolution des teneurs en saccharose, glucose et fructose.

- Enfin pour les fruits récoltés à 60 JAF et induits en conditions M1 et M3, nous n'avons pu expliquer la diminution au 6^{ème} jour après l'induction de la maturation, suivi de l'augmentation au 7^{ème} jour, du taux de glucose et de fructose alors que le niveau de saccharose reste comparable.

Evolution de la teneur en acides organiques

L'évolution des teneurs en acides organiques est décrite dans la figure 13 (graphiques D, E et F). Chez les fruits récoltés à 90 JAF, les conditions d'induction de la maturation ne semblent pas avoir d'effet sur le profil ni la teneur en acide malique (Fig. 13D). En effet, chez tous ces fruits la teneur en acide malique augmente transitoirement au cours de la maturation post récolte, atteignant un maximum, 3-4 jours après induction de la maturation avant de décroître par la suite. Chez les fruits récoltés à 60 JAF, ceux induits en conditions M2 présentent globalement de faibles teneurs en acide malique comparés aux fruits induits en conditions M1 et M3. L'acide malique présente un profil d'accumulation similaire à celui des sucres solubles confirmant ainsi le lien étroit qui existe entre les métabolismes de ces deux composés.

Des teneurs en acide citrique légèrement faibles ont été obtenues chez les fruits récoltés à 60 JAF comparés à ceux récoltés à 90 JAF (Fig. 13E). Pour un stade de récolte donné, la teneur en acide citrique varie très peu au cours de la maturation post récolte et ce quelque soit le traitement.

Enfin concernant l'acide oxalique, une légère augmentation de sa teneur a été observée uniquement dans les phases tardives de la maturation des fruits récoltés à 90 JAF et induits en conditions M3. Dans tous les autres cas de figures, aucune importante variation des teneurs en acide oxalique n'a été observée.

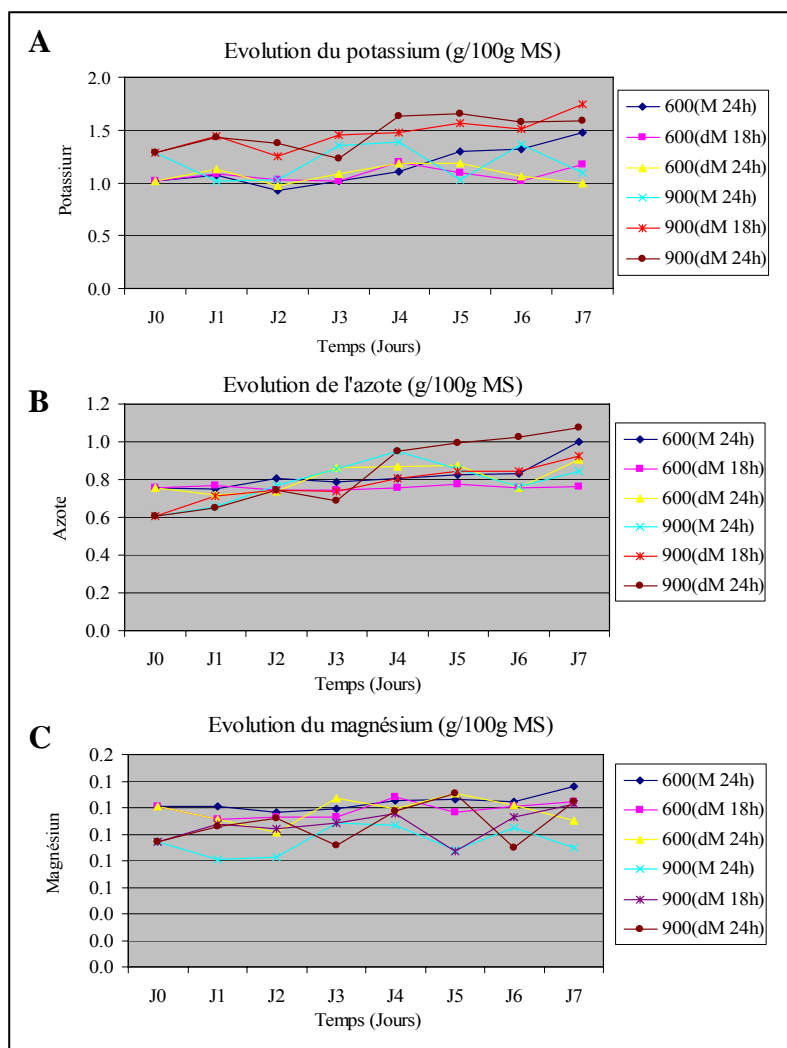


Figure 17 : Evolution des critères nutritionnels exprimée en g/100g de matière sèche

A : Evolution du potassium

B : Evolution de la fermeté de la pulpe

C : Evolution du magnésium

Des trois acides organiques mesurés, l'acide malique est le seul dont l'évolution des teneurs est fortement affectée par le stade de développement et le traitement post récolte, suggérant ainsi le rôle prépondérant de ce composé chez la banane.

4 Evolution des critères nutritionnels (composés minéraux)

Dans le cadre de cette étude, nous avons également examiné l'effet de la date de récolte et des conditions d'induction de la maturation sur la composition et la teneur en minéraux présents dans les fruits. Des teneurs très variables voir très faibles ont été obtenues pour certains d'entre eux après les trois essais, rendant d'autant plus difficile l'interprétation des résultats. Par conséquent, ne seront présentés dans ce rapport que l'évolution des teneurs en magnésium, potassium et d'azote dont les mesures ont données des résultats jugés fiables et interprétables (Fig 14).

La richesse de la banane en potassium est aujourd'hui reconnue et comme attendu, des différents minéraux dosés, le potassium est celui présent en quantité plus importante, suivi de l'azote et du magnésium. Cependant, cette teneur n'évolue que très peu au cours de la maturation comparé à celle de l'azote alors que celle du magnésium demeure globalement stable. De manière générale, pour un stade de récolte donné, les conditions d'induction ne semblent pas avoir d'effets marquants sur les profils et les teneurs de ces composés au cours de la maturation.

5 Présentation des Analyses en Composantes Principales.

L'ensemble des résultats obtenus au terme de nos travaux a fait l'objet d'une Analyse en Composantes Principales. L'objectif de cette étude statistique était d'examiner d'une part les corrélations possibles qui pourraient exister entre les différents paramètres de qualité mesurés et le degré de maturité du fruit et, d'autre part, de déterminer sur la base de ces critères les éventuels contrastes en termes d'évolution physiologique entre les différents stades de développement. L'obtention de telles informations présente un intérêt double.

- a. Le degré de corrélation entre les différents critères de qualité permettrait, dans le contexte d'une caractérisation d'un grand nombre de variétés, de prédire l'évolution d'un critère plus difficile à doser à partir d'un autre dont le dosage est plus facile.
- b. La disponibilité, pour un critère de qualité donné, des stades physiologiques contrastés permettrait d'identifier des modèles pour aborder, par une approche génomique fonctionnelle, l'étude des mécanismes physiologiques qui gouvernent l'élaboration de ce critère. De telles études dont le développement est en cours visent à identifier les gènes candidats et les marqueurs moléculaires associés à l'élaboration de la qualité, marqueurs destinés au pilotage des croisements et à la sélection précoce des hybrides prometteurs.

Détermination des corrélations

Les résultats des corrélations entre les différents critères sont décrits dans l'annexe 5 et la figure 15A pour les fruits récoltés à 60 JAF, l'annexe 6 et figure 14B pour les fruits récoltés à 90 JAF. Pour les fruits récoltés à 60 JAF, de très fortes corrélations sont observées entre certaines variables. A titre d'exemple, le dégrain est très fortement et positivement corrélé à la dureté de la peau et à la fermeté de la pulpe, négativement corrélé à la couleur, le glucose, le fructose, l'acide malique et l'azote. Une corrélation positive est notée entre la couleur de la peau et le saccharose, le glucose, le fructose, l'acide malique et l'azote. Toujours avec la couleur de la peau, une forte corrélation négative est notée avec le dégrain, la dureté de la peau, la fermeté de

la pulpe. Toutes ces corrélations sont assez logiques puisque lorsque la banane mûrit, la teneur en sucres augmente, alors que diminuent la fermeté de la pulpe et la dureté de peau. Chez les fruits récoltés à 90 JAF, les corrélations observées sont globalement les mêmes que celles observées chez ceux récoltés à 60 JAF. Cependant, un plus fort niveau de corrélation est noté entre les caractéristiques physiques et les sucres. Les corrélations sont bien plus fortes avec le saccharose chez les fruits récoltés à 90 JAF alors que chez ceux récoltés à 60 JAF les corrélations sont plus fortes avec le fructose et le glucose.

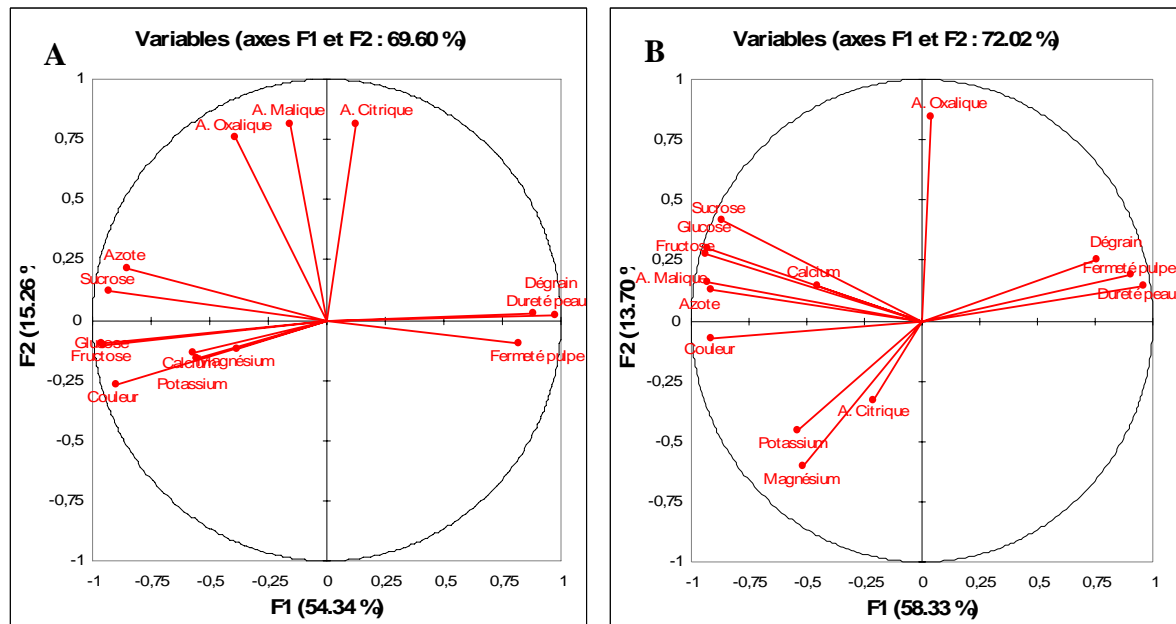


Figure 14 Cercles de corrélation représentant les différentes variables physico chimiques des bananes A : stade 90 JAF et B: stade 60 JAF

6. Présentation des Classifications Ascendantes Hiérarchiques (CAH).

La CAH nous a permis de classer et de regrouper les individus en sous-ensembles homogènes. L'analyse statistique intégrant l'ensemble des critères mesurés dans cette étude a été réalisée sur la totalité des fruits indépendamment du stade de récolte et des traitements. Les résultats présentés annexe 7 montrent que :

- sur la base de l'évolution post-récolte des critères de qualité, l'ensemble des fruits peut être regroupé en 5 classes.
- Trois classes sont apparues exclusivement constituées de fruits issus du même stade de récolte. C'est le cas des classes 1 et 4 constituées des fruits récoltés à 60 JAF et de la classe 2 constituée des fruits récoltés à 90 JAF.
- Pour des stades de récolte identiques, les équivalences sont observées chez fruits en fonction de l'induction de leur maturation et de leur date de prélèvement post-récolte. Par exemple pour les fruits récoltés à 60 JAF, ceux prélevés 1 et 2 jours après induction de la maturation en conditions M1 sont équivalents à ceux induits en conditions M2 et prélevés 1 à 3 jours après.
- Pour des stades de récolte différents, les équivalences sont observées chez fruits en fonction de l'induction de leur maturation et de leur date de prélèvement post-récolte. Par exemple, les fruits récoltés à 90 JAF et prélevés 3 jours après induction

de la maturation en conditions M1, sont équivalents d'une part à ceux prélevés 4 jours après induction de la maturation en conditions M2 et, d'autre part, aux fruits récoltés à 60 JAF et prélevés 5 jours après induction en conditions M3.

7. Conclusions et Perspectives

Cette étude prospective, nous a permis de mettre en lumière des différences physico chimiques et biochimiques chez les fruits Cavendish en fonction de leur stade de récolte et des conditions d'induction de leur maturation. Cependant, cet effet diffère en fonction du critère de qualité mesuré. En effet, les conditions d'induction de la maturation M2 (10000 ppm d'acétylène/18h/20°C) diminue la vitesse de maturation des fruits récoltés 60 JAF avec des répercussions sur tous les critères mesurés. En revanche, ceux induits en condition M3 induits la maturation avec des effets sur les sucres solubles mais pas sur la teneur en potassium.

Dans une perspective d'amélioration variétale, le choix des variétés parents destinés au croisement est un préalable indispensable qui nécessite une caractérisation comparée et objective des différentes variétés de banane par rapport au standard commercial Cavendish. Les résultats de ce travail contribuent d'une part, à la caractérisation exhaustive de la qualité de ce standard et, d'autre part à l'identification des conditions technologiques favorables à l'expression optimale de son potentiel de qualité.

L'analyse statistique des données a permis de mettre en évidence des degrés de corrélation différents entre les critères de qualité mesurés. De plus, elle suggère qu'il est possible, pour la variété Cavendish, de créer des conditions physiologiques contrastées en modulant les dates de récolte et les traitements technologiques post-récolte. Ce qui ouvre des perspectives intéressantes, pour des études des mécanismes physiologiques de la maturation basées sur les modèles contrastés.

Cependant, il conviendrait d'affiner cette étude par des expériences supplémentaires sur un grand nombre d'échantillons, des répétitions biologiques, un éventail plus large de critères de qualité notamment organoleptiques (arômes, analyse sensorielles) et nutritionnels (vitamines).

Bibliographie

ALMONT, F., La réforme du volet interne de l'organisation commune des marchés dans le secteur de la banane, en ligne : <http://www.assemblée-nationale.fr/12/europe/rap-info/3443.asp>, consulté le 23 juillet 2008.

BRADY, C.J., 1987, Fruit ripening, *Rev Plant Physiol*, n° 38, p.155-178

BUGAUD, C., LASSOUDIERE, A., 2005, Variability in the green shelf live of bananas in real -conditions of production, vol. 60, pp. 227-236

CHAMPION, J., 1963, *Le bananier*, Paris Maisonneuve et Larose, p 263.

BUGAUD, C., CHILLET, M., BEAUTE, MP., DUBOIS, C., 2006, Physicochemical analysis of montain bananas from the French West Indies, *Science Horticulturae*, 108, p 167-172

CHILLET, M., De LAPEYRE de BELLAIRE, L., 1996, Elaboration des critères de bananes au champ. Détermination de critères de mesure. *Fruits*, vol.51, p.317-326

CHILLET, M., 2003, Incidence des conditions de croissance du fruit du bananier (*Musa spp AZAA cv*, « Grande Naine ») sur sa sensibilité à l'anthracnose de blessure due à *Colletotrichum musae*, Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Montpellier II, 190p.

CHILLET, M., De LAPEYRE de BELLAIRE, L., HUBERT, O., MBEGUIE-A-MBEGUIE, D., 2008, Mechanical characterisation of bannas fruits, *Fruits*, vol 63, p 51-52.

COUTURIER, G., 2003, Technologie des fruits et des légumes. Relation entre la maturation et la qualité des fruits, Technologie Agro-Alimentaire, Formation FONTANET.

COSTANER, M., GIL, M.I., ARTES, F., 1997. Organic acids as browning inhibitors on harvested "baby lettuce and endive. *Z lebensm. Unters Forsch. A* 205, 375-379

CRDP Martinique, 2003, la maturation des fruits, en ligne: <http://crdp.ac-martinique.fr/productions/complements/banane/maturation-fruits.htm>, consulté le 10 mai 2008

DADZIE, B.K., ORCHARD, J.E., 1997.Evaluation post-récolte de bananiers et bananiers plantains : critères et méthodes. Guides techniques INIBAP, Montpellier, France.

DEULLIN, R., MONNET, J., 1956, Observations on the hardeness of banana pulp during planned developpemnt and in the climacteric phase for the purpose of estimating the quality of the fruit, *Fruits*, vol 11, p.341-354

DOMINGUEZ-PUIGJANER, E., VENDRELL, M., and DOLORS LUDEVID, M., 1992, Differential Protein Accumulation in Banana Fruit during Ripening, *Plant physiology* 98 p 157-162.

FILS-LYCARON, B., 2008, Biochemical characterization of pulp of bananas fruit, measurement of soluble sugars, organic acids, free ACC, *Fruits*, vol. 63, p187-191

FLORES F.B., MARTÍNEZ-MADRID, M.C., ROMOJARO, F., 2008, Influence of Fruit Development Stage on the Physiological Response to Ethylene in Cantaloupe Charentais Melon, *Food Science and Technology International*, Vol. 14, No. 1, 87-94

GANRY, J., 1978, Recherche d'une méthode d'estimation de la date de récolte du bananier à partir de données climatiques dans les conditions de travail des Antilles, *Fruits*, vol 33, n° 10, p 669- 680.

GRIERSON, D., TURKEY, G.A., ROBERTSON, N.G., 1981, The molecular biology of ripening

HAPPI EMAGA, T., WATHELET, B., PAQUOT, M., 2007, Changements texturaux et biochimiques des fruits du bananier au cours de la maturation. Leur influence sur la préservation de la qualité du fruit et la maîtrise de la maturation, *Biotechnol. Agron.Soc.* 12(1), p89-98

HUBBARD, NL., PHARR, DM., HUBER, SC., Role of sucrose phosphate synthase in sucrose biosynthesis in ripening bananas and its relationship to the respiratory climacteric. *Plant Physiol* 1990;94:201-8.

IMSABAI, W., KETSA, S., van DOORN, W., 2006, Physiological and biochemical changes during banana ripening and finger drop. *Postharvest Biol Technol.* 39: 211-216.

KAYASHIMA, T., and KATAYAMA, T., Oxalic acid is available as a natural antioxidant in some systems, *Biochim. Biophys. Acta* **1573** (2002), pp. 1–3.

KNEE, M., 1980, Methods of measuring green colour and chlorophyll content of apple fruit. *Jou. Food Technol.* N°15, p493-500.

LASSOUDIERE, A., 2007, Le bananier et sa culture, éditions Quae, (78026 Versailles Cedex, France), 381p.

LELIEVRE, J.M., LATCHÉ, A., JONES, B., BOUZAYEN, M., PECH, J.C., Ethylene and fruit ripening. *Physiol Plant*; 101:727–739.

LIU, F., 1976, Correlation between bananas storage life and minimum treatment time required for ethylene response, *Soc. Hort.Sci.* 101, p 63-65

MADAMBA, L.S.P., BAES, A.U., MENDOZA, D.B., 1977, Effect of maturity on some biochemical changes during ripening of bananas. *Food. Chem.*, 2, p177-183

MARRIOT, J., 1980, Bananas: physiology and biochemistry of storage and ripening of optimum quality in *Food Science and Nutrition*. P. 41-88

MARRIOTT, J., ROBINSON, M., KARIKARI, S.K., 1981, Starch and sugar transformation during ripening of plantains and bananas, *Trop. Sci.* vol. 32, p.1021-1026.

MBEGUIE-A-MBEGUIE, D., HUBERT, O., SABAU, X., CHILLET, M., FILS-LYCAON, B., BAURENS, F.-C., 2007, Use of expression subtractive hybridization approach to identify genes differentially expressed during early banana fruit development undergoing changes in ethylene responsiveness. *Plant science.*, 172, p1025-1036.

Ministère de l'agriculture, 2004, dossier de la banane antillaise, en ligne : <http://agriculture.gouv.fr/sections/presse/communiqués/dossier-de-la-banane-antillaise/>, consulté le 10 mai 2008.

- Ministère de l'agriculture, 2007, la banane en 2007, en ligne : <http://www.snm.agriculture.gouv.fr/bilan/banane07.pdf> consulté le 10 mai 2008.
- MEDINA-SUAREZ, R., MANNING, K., FLETCHER, F., AKED, J., BIRD, CR., SEYMOUR, GB., 1997, Gene expression in the pulp of ripening bananas, *Plant physiology*, vol. 115, 2, p 453-461
- MEDLICOTT, A.P., SEMPLE, A.J., THOMPSON, A.J., BLACKBOURNE, H.R., THOMPSON, A.K., 1992, Measurement of colour changes in ripening bananas and mangoes by instrumental, chemical and visual assessments, *Trop. Agric.* vol. 69(2) p.161-166.
- PAYOT, M., l'Express, Quel avenir pour la banane ? en ligne : <http://www.lexpress.fr/info/France/dossier/dontom/dossier.asp?id=436134>
- PECH, J.C., LATCHE, A., BOUZAYEN, M., ULRICH, I., 2003, Maturation et qualité des fruits, en ligne : <http://www-peda.ac-martinique.fr/svt/bana13.shtml>, consulté le 7 mai 2008
- PERRIN, M., 2007, Banane dollar, dessert amer, en ligne : http://europe.rfo.fr/imprimer.php3?id_article=119, consulté le 20 mai 2007.
- ROBINSON, J.C., 2006, Bananas and plantains, CABI Publishing is a division of CAB International, 238p
- SEYMOUR, G.B., TAYLOR, J.E., TUCKER, G.A., 1993, Biochemistry of fruit ripening, Chapman et Hall, p 83-100
- SIMMOND N.W., 1962, The evolution of bananas, Longmans Green Londres, 170p
- SIMMONDS, N.W., SHEPHERD, K., 1955, The taxonomy and origins of the cultivated bananas, *J. Linn. Soc. (Bot.)* 55 302-312
- TRIAY, P., 2008, Economie : Banane Antillaise, rien ne peut... L'abattre, en ligne : <http://martinique.rfo.fr/article571.html>, consulté le 20 mai 2008.
- WYMAN, H., PALMER, J.K., 1964, Organic acids in the ripening bananas fruit, *Plant physiol.* 39 (4) , p 630 - 633
- YORUK, R., BALABAN, MO., MARSHALL, M.R and YORUK, S., The inhibitory effect of oxalic acid on browning of banana slices, *Annual Meeting and Food Expo Anaheim, California*, 30G-18 (2002), p. 74
- ZHENG, X.L., TIAN, S.P., 2006, Effect of oxalic acid on control of postharvest browning of litchi fruit, *Food Chem.* 96, pp. 519-523.
- ZHENG X, TIAN, S., GIDLEY, MJ., YUE H., LI B, 2007, Effects of exogenous oxalic acid on ripening and decay incidence in mango fruit during storage at room temperature. *Postharvest boil Tech* 45: 281-284.

ANNEXE 1

Programme 1 : étape éventuelle pour les programmes 2 et 3		
Questions de recherche et stratégies	Partenariat	Sorties
<u>Optimisation de la caractérisation physico-chimique, biochimique et biologique à l'aide de paramètres importants pour les qualités organoleptique, nutritionnelle, biologique (activité)</u> - Mesure de paramètres impliqués dans la qualité organoleptique et nutritionnelle - Mesure de l'activité biologique. - Recherche et isolement des molécules associées. - Analyse de la structure chimique des molécules en relation avec leur activité	- UMR SPO, plateforme polyphénols Montpellier - UMR QUALISUD - UMR SQPOV Avignon - UMR BIA Nantes-Angers - UMR ECOFOG Guyane Unité Technologique des Industries alimentaires, Gembloux, Bruxelles - PARM Martinique - LASEVE, université de Québec	- Disposer d'outils de caractérisation simples et rapides à mettre en œuvre - Trouver les paramètres les plus discriminants de la qualité - Etablir des corrélations entre analyse physico-chimique / biochimique et qualités sensorielle, nutritionnelle et biologique (activité)
<u>Evaluation de nouveaux hybrides et des variétés en collection</u> - pour des conditions agro-pédoclimatiques de production, de récolte, de maturation, et de traitement, conservation et transformation post-récolte identiques - dans des conditions agro-pédoclimatiques de production, de récolte, de maturation, et de traitement, conservation et transformation post-récolte différentes	- ISM, Université de Bordeaux I - UAG laboratoires de Physique GTSI et C3MAG - Université de Nouvelle Calédonie - Sociétés SYLAB et Phytobocaz - UR PV INRA - UR APC INRA - CIRAD Agronomie	- Caractérisation de la biodiversité - Choix de matériel végétal pour la consommation en frais - Choix de matériel végétal adapté pour une autre valorisation que le frais (valorisation de molécules actives-agro-transformations) (lien avec programme 3) - Repérage de variétés potentiellement intéressantes pour des schémas de création variétales - Orientation des conditions de production, de récolte, maturation; traitement, conservation et transformation post-récolte - Repérage de variétés contrastées pour un paramètre de qualité donné qui seront utilisées ultérieurement pour des études de physiologies (lien avec programme 2)

Programme 2 : Approche « globale » et/ ou « cibles »

Questions de recherche et stratégies	Partenariat	Sorties	
<p><u>Acquisition de l'aptitude à mûrir du fruit (banane seulement) (développement en vert)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Déterminer les stades de transition - Recherche de gènes et protéines de fonctions et de régulation séquentiellement exprimés (approche globale) - Cibles (récepteurs de l'éthylène, facteurs de transduction du signal éthylénique) 	<p>UMR SPO, Plateau protéomique Montpellier</p> <p>UMR DAP Montpellier</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Eclairage sur l'acquisition de l'aptitude à mûrir du fruit en liaison avec les contraintes de la filière 	<ul style="list-style-type: none"> - Orientation des conditions de production, de récolte, maturation; traitement, conservation et transformation post-récolte - Identification de gènes candidats potentiellement utilisables comme marqueurs moléculaires
<p><u>Métabolisme des sucres</u></p> <p><u>Métabolisme des polyphénols et sensibilité au brunissement</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Dosage des métabolites et recherche de variétés contrastées (lien avec programme 1) - Fonctions cibles : Mesure d'activités enzymatiques et caractérisation et expression des gènes - Recherche de gènes et protéines de fonctions séquentiellement exprimés (approche globale) 	<p>UMR SPO, plateforme polyphénols Montpellier</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Eclairage sur ces métabolismes en liaison avec la qualité organoleptique et les contraintes de la filière 	

Programme 3 : Agro-transformations

<u>Questions de recherche et stratégies</u>	Partenariat	Sorties
<u>Adaptation de procédés technologiques pour l'élaboration de produits intermédiaires et finis adaptés aux marchés « aliments-santé-cosmétique, phramacologie »</u> - Comparaison du matériel frais à l'aide de descripteurs de qualité (lien avec programme 1) plus paramètres technologiques - Comparaison des opérations technologiques - Evaluation de la qualité des produits transformés (lien avec programme 1)	- UMR QUALISUD Montpellier - UMR SQPOV Avignon - UMR SCALE Paris - Laboratoire de Génie chimique, Toulouse - Unité expérimentale INRA de Pech Rouge - Unité Technologique des Industries Alimentaires, Gembloux, Bruxelles - CTCPA d'Avignon - PARM Martinique - LASEVE, Université de Québec - Sociétés SYLAB et Phytobocaz	- Amélioration de la connaissance de la banane en matière de potentiel de transformation - Maîtrise de l'aptitude à la transformation en disposant d'un arsenal d'outils technologiques et de variétés - Création de produits transformés innovants, attractifs, ayant conservé leur qualité organoleptique et/ou nutritionnelle et/ou biologique (activité) - Création d'extraits à activité biologique alimentaire ou non alimentaire - Valorisation de la production et de co-produits ou déchets sur des marchés segmentés alimentaires ou non alimentaires

Programmes de recherche de l'UMR94QUALITROP

ANNEXE 2

UMR QUALITROP INRA – UAG - CIRAD

Qualité des Fruits et Légumes Tropicaux

ORGANIGRAMME 2008

Directeur d'Unité : FILS-LYCAON Bernard CR-HDR

Secrétaire gestionnaire d'Unité : Poste à pourvoir ; Secrétariat équipe « Chimie » : CILIRIE Maryse AA (0,5 ETP)

Documentaliste d'Unité : ROMIL Nadia AT

EQUIPES de RECHERCHE		
PHYSIOLOGIE -BIOCHIMIE	AGRO-TRANSFORMATIONS	CHIMIE
Animateur FILS-LYCAON Bernard CR (HDR)	Animateur <i>FAHRASMANE Louis IR (HDR)</i> (Correspondant informatique INRA, – localisation Duclos)	Animatrice <i>LEVALOIS-GRÜTZMACHER Joëlle PR (HDR)</i>
<i>MBEGUIE-A-MBEGUIE Didier CR</i>	AUORE Guylène MCF	BERCION Sylvie MCF (HDR)
RINALDO Dominique CR	GANOUE Berthe AI (OPPI – localisation Duclos)	BEREAU Didier MCF
		ROBINSON Jean-Charles MCF
		SYLVESTRE Muriel MCF
		UDINO Lyn MCF

GROUPE D'APPUI TECHNIQUE

CAZIMIR Gilyse AI (0,5 ETP) (animat° AQR – localisation Fouillole))	GALAS Colette TR (animat° AQR – localisation Duclos))	JULIANUS Philippe AT (Adj OPPI – localisation Duclos)
MARTIAL Karine TR (0,5 ETP)	NAGAU Francine TR (0,5 ETP)	PICHY Rosan TR (Correspondant informatique INRA, - localisation Duclos)
SAINT-MARC Marie-Laure AT (Métrologie - localisation Duclos)		

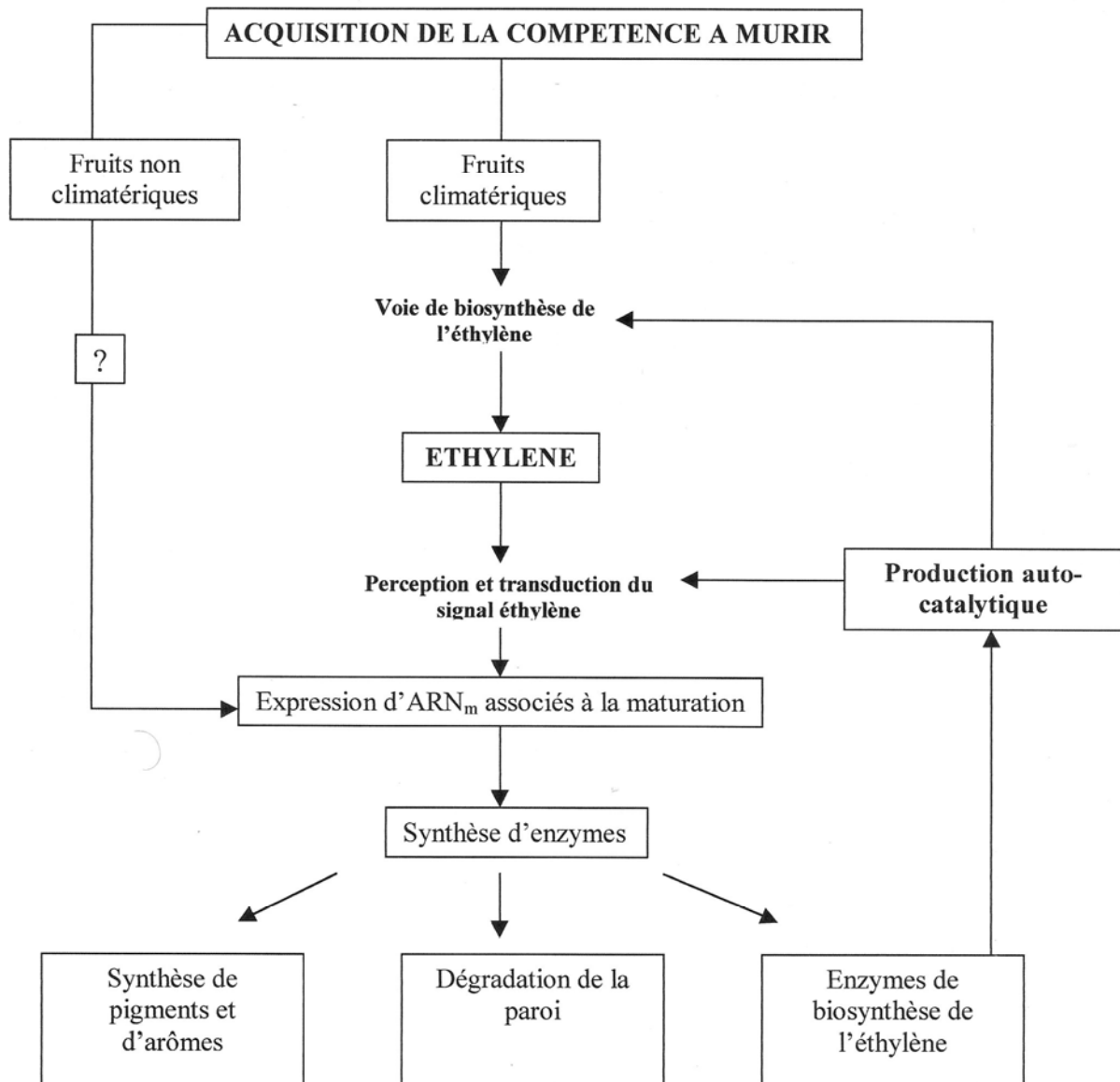
Organigramme 2008 de l'UMR94 QUALITROP

ANNEXE 3

Groupe	Sous groupe	Cultivars	Type de fruits	Distribution
AA	Sucrier	Pisang Mas, Frayssinette, Figue sucrée	dessert sucré	Tous continents
	Pissang Lili		dessert	Indonésie, Malaisie
	Pissang Berangatan Lakatan		dessert dessert	Indonésie Malaisie Philippine
AAA	Cavendish	Lakatan, Poyo, Williams Grandenaine, Petite naine	dessert	Pays exportateurs
	Gros Michel	Gros Michel, Highgate Cocos	dessert	Tous continents
	Figue Rose	Figue Rose rose Figue Rose verte,	dessert	Philippine Pacifique, Antilles
	Lujigira Ibota	Intuntu, Mujuba Yangambi km5	à bière, à cuire dessert	Afrique de l'est, Indonésie, Afrique
AB	Ney Poovan	Safet Velchi, Sukari	Dessert acide	Inde, Afrique Est
AAB	Figue pomme, Pomme	Maça, Silk Prata	Dessert acide Dessert acide	Tous continents Inde, Malaisie Australie, Brésil, Afrique Ouest
	Mysore Pissang Kelat Plantains	Pisang Ceylan Pissang Kelat French, Corne Faux Corne	Dessert acide Dessert A cuire	Inde Inde Malaisie Afrique centre, ouest, Caraïbe, Amérique latine
	Popoulou Laknao Pisang Nangka	Popoulou Laknao Pisang Nangka	A cuire A cuire A cuire	Pacifique Philippine Malaisie
ABB	Bluggoe	Blugoe, Matavia Poteau, Cacambou	A cuire	Philippine, Caraïbe Amérique latine
	Pelpita Pisang Awak	Pelipita Fougamou	A cuire Dessert	Philippine Thaïlande, Inde Philippine
	Peyan		A cuire	Philippine, Thaïlande
	Saba	Saba	A cuire	Philippine, Indonésie
AAAA	Champa Nasik	Champa Nasik	dessert	

Classification des principaux bananiers cultivés (Charrier et al, 1997)

ANNEXE 4



Mode d'action de l'éthylène lors de la maturation (CRDP Martinique, 2003)

ANNEXE 5

Variables	Dégrain	Dureté peau	Fermeté pulpe	Couleur	Saccha.	Glucose	Fructose	A. Oxal.	A. Mal.	A. Citr.	N	Mg	K	Ca
Dégrain	1	0,804	0,790	-0,683	-0,510	-0,600	-0,604	0,230	-0,645	-0,320	-0,586	-0,346	-0,426	-0,319
Dureté peau	0,804	1	0,943	-0,921	-0,744	-0,850	-0,858	0,124	-0,849	-0,343	-0,823	-0,494	-0,554	-0,337
Fermeté pulpe	0,790	0,943	1	-0,824	-0,667	-0,765	-0,769	0,218	-0,852	-0,422	-0,785	-0,465	-0,396	-0,374
Couleur	-0,683	-0,921	-0,824	1	0,768	0,880	0,891	-0,117	0,760	0,345	0,728	0,414	0,500	0,276
Saccharose	-0,510	-0,744	-0,667	0,768	1	0,964	0,952	0,268	0,857	-0,079	0,878	0,249	0,333	0,359
Glucose	-0,600	-0,850	-0,765	0,880	0,964	1	0,996	0,179	0,872	0,122	0,860	0,289	0,363	0,415
Fructose	-0,604	-0,858	-0,769	0,891	0,952	0,996	1	0,167	0,870	0,143	0,853	0,314	0,374	0,438
A. Oxalique	0,230	0,124	0,218	-0,117	0,268	0,179	0,167	1	0,046	-0,135	0,096	-0,448	-0,226	-0,012
A. Malique	-0,645	-0,849	-0,852	0,760	0,857	0,872	0,870	0,046	1	0,069	0,902	0,433	0,342	0,538
A. Citrique	-0,320	-0,343	-0,422	0,345	-0,079	0,122	0,143	-0,135	0,069	1	-0,063	0,053	-0,049	0,077
Azote	-0,586	-0,823	-0,785	0,728	0,878	0,860	0,853	0,096	0,902	-0,063	1	0,528	0,555	0,396
Magnésium	-0,346	-0,494	-0,465	0,414	0,249	0,289	0,314	-0,448	0,433	0,053	0,528	1	0,712	0,213
Potassium	-0,426	-0,554	-0,396	0,500	0,333	0,363	0,374	-0,226	0,342	-0,049	0,555	0,712	1	0,036
Calcium	-0,319	-0,337	-0,374	0,276	0,359	0,415	0,438	-0,012	0,538	0,077	0,396	0,213	0,036	1

Les valeurs en gras sont significativement différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0.05$

$r = 0,20$ à $0,40$: faible ou quasi absence de corrélation

$r = 0,40$ à $0,60$: moyenne corrélation

$r = 0,60$ à $0,80$: bonne corrélation;

$r = 0,80$: corrélation élevée

Présentation du tableau des corrélations chez les fruits 60 JAF

ANNEXE 6

Variables	Dégrain	Dureté peau	Fermeté pulpe	Couleur	Saccha.	Glucose	Fructose	A. Oxal.	A. Mali.	A. Citri.	N	Mg	K	Ca
Dégrain	1	0,880	0,707	-0,874	-0,741	-0,849	-0,849	-0,368	-0,173	0,211	-0,634	-0,278	-0,400	-0,412
Dureté peau	0,880	1	0,866	-0,914	-0,922	-0,950	-0,943	-0,308	-0,109	0,096	-0,797	-0,261	-0,408	-0,545
Fermeté pulpe	0,707	0,866	1	-0,678	-0,854	-0,725	-0,713	-0,213	-0,246	-0,013	-0,644	-0,205	-0,261	-0,522
Couleur	-0,874	-0,914	-0,678	1	0,761	0,954	0,952	0,135	-0,109	-0,275	0,647	0,191	0,362	0,547
Saccharose	-0,741	-0,922	-0,854	0,761	1	0,852	0,842	0,368	0,295	-0,025	0,800	0,341	0,558	0,498
Glucose	-0,849	-0,950	-0,725	0,954	0,852	1	0,999	0,307	0,006	-0,146	0,787	0,217	0,425	0,558
Fructose	-0,849	-0,943	-0,713	0,952	0,842	0,999	1	0,308	0,000	-0,154	0,783	0,209	0,423	0,557
A. Oxalique	-0,368	-0,308	-0,213	0,135	0,368	0,307	0,308	1	0,574	0,454	0,607	0,270	0,255	-0,117
A. Malique	-0,173	-0,109	-0,246	-0,109	0,295	0,006	0,000	0,574	1	0,463	0,197	0,011	0,065	0,001
A. Citrique	0,211	0,096	-0,013	-0,275	-0,025	-0,146	-0,154	0,454	0,463	1	0,019	-0,335	-0,380	0,087
Azote	-0,634	-0,797	-0,644	0,647	0,800	0,787	0,783	0,607	0,197	0,019	1	0,424	0,542	0,356
Magnésium	-0,278	-0,261	-0,205	0,191	0,341	0,217	0,209	0,270	0,011	-0,335	0,424	1	0,746	0,044
Potassium	-0,400	-0,408	-0,261	0,362	0,558	0,425	0,423	0,255	0,065	-0,380	0,542	0,746	1	0,264
Calcium	-0,412	-0,545	-0,522	0,547	0,498	0,558	0,557	-0,117	0,001	0,087	0,356	0,044	0,264	1

Les valeurs en gras sont significativement différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0.05$

$r = 0,20$ à $0,40$: faible ou quasi absence de corrélation

$r = 0,40$ à $0,60$: moyenne corrélation

$r = 0,60$ à $0,80$: bonne corrélation;

$r = 0,80$: corrélation élevée

Tableau des corrélations 90 JAF

ANNEXE 7

Classe	1	2	3	4	5
Objets	8	5	9	10	12
Somme des poids	8	5	9	10	12
Variance intra-classe	114,786	319,055	168,816	81,069	66,761
Distance minimale au barycentre	3,655	3,454	1,456	4,412	3,065
Distance moyenne au barycentre	8,977	13,658	9,765	7,938	7,071
Distance maximale au barycentre	17,007	23,062	23,510	14,136	12,820
	600J0	900J0	9DM2J2	6DM2J3	9DM2J4
	6DM2J1	9DM2J1	9DM1J2	6M2J3	9M2J4
	6DM1J1	9DM1J1	9DM2J3	6DM1J4	9DM2J5
	6M2J1	9M2J1	9DM1J3	6M2J4	9DM1J5
	6DM2J2	9M2J2	9M2J3	6DM1J5	9M2J5
	6DM1J2		6DM2J4	6M2J5	9DM2J6
	6M2J2		9DM1J4	6DM2J6	9DM1J6
	6DM1J3		6DM2J5	6DM1J6	9M2J6
			6M2J7	6M2J6	6DM2J7
				6DM1J7	9DM2J7
					9DM1J7
					9M2J7

Tableau des équivalences physiologiques



Gilbert PIRAL

Influence des dates de récolte et des traitements post-récoltes sur l'évolution des critères de qualité de la banane : étude des mécanismes physiologiques associés

Structure d'accueil : Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement

Encadrant :

Maître de stage : M. Didier MBEGUIE-A-MBEGUIE

Tuteur pédagogique : Mme Nathalie VASSAL

Option :

Agronomie Production Végétale et Environnement.

Résumé:

Dans cette étude, nous avons caractérisé la banane d'exportation Cavendish et examiné l'incidence du stade de récolte et des traitements post récoltes sur les différents critères de la qualité du fruit. Pour cela environ 140 fruits ont été récoltés à 2 stades différents, 60 JAF (jours après floraison) et à maturité commerciale (90 JAF). Les fruits ont été mûris séparément dans 3 conditions et à 20°C: M1 : 1000 ppm d'acétylène (un analogue de l'éthylène), pendant 24 h, M2 : 10000 ppm d'acétylène pendant 18 h ; M3 : 10000 ppm d'acétylène pendant 24 h. Durant les 7 jours qui ont suivi le traitement, les critères de qualité organoleptiques (sucres et acides organiques), nutritionnels (minéraux) et physiques (dureté de la peau, fermeté de la pulpe et la couleur de la peau) ont été mesurés tous les jours.

Nos résultats montrent que la date de récolte et les conditions d'induction de la maturation affecte différemment l'évolution de la qualité post-récolte des fruits en fonction du critère de qualité choisi. Ce qui suggère une mise en place différentielle des mécanismes physiologiques associés.

Par ailleurs l'analyse statistique des données a mis en évidence d'une part des corrélations entre les évolutions des différents critères et, d'autre part, des équivalences physiologiques entre les fruits.

Mots clefs : *Musa*, fruit, maturation, qualité, technologie post-récolte,

Abstract:

In this study leading to the characterization of Cavendish banana, we examined the effect of harvested time and post-harvested treatments on the behaviour of fruit quality traits during post-harvest ripening. Approximately 140 fruits were harvested at two developmental stages namely, 60 DAF (days after flowering) and commercially harvested time (90 DAF). Fruits were ripen in air at 20°C after being induced under three separated conditions all performed at 20°C: M1 : 1000 ppm of acetylene, an ethylene analog for 24 h; M2: 10000 ppm of acetylene for 18 h ; M3 : 10000 of acetylene for 24 h. During 7 days following the post-treatment induction, different quality criteria including physical (pulp firmness and peel hardness, fruit color), organoleptic (soluble sugar and organic acid), and nutritional (mineral composition) were measured daily.

Our results shown that, harvested time and ripening conditions affect differentially the behaviour of fruit quality traits according to the chosen parameter, thus suggesting a differential induction of the physiological mechanisms involved.

The statistical analysis of the all data obtained point out that i) some correlation between evolutions of different parameter of quality and ii) physiological equivalence between fruits.

Keywords: *Musa*, fruit, quality, post-harvested technology.